

Міністерство освіти і науки України
Луцький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)
Факультет транспорту та механічної інженерії
(повне найменування факультету)
Кафедра автомобілів і транспортних технологій
(повне найменування кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «МАГІСТР»

ОЦІНКА ВПЛИВУ СЕЗОННИХ УМОВ НА НАДІЙНІСТЬ
ПНЕВМОПІДВІСКИ АВТОБУСА ВЕЛИКОГО КЛАСУ

Спеціальність: 274 Автомобільний транспорт

Освітня програма: Автомобільний транспорт

Виконав: здобувач вищої освіти
групи АТм-21
Владислав ЛУГОВСЬКИЙ

Керівник:
к.т.н., доцент
Микола ГАНДЗЮК

Кваліфікаційну роботу
допущено до захисту
„_____” _____ 2025 р.

к.т.н., доцент
Гарант освітньої програми:
Олег СІТОВСЬКИЙ

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет транспорту та механічної інженерії
Кафедра автомобілів і транспортних технологій
Ступінь вищої освіти: магістр
Галузь знань: 27 Транспорт
Спеціальність: 274 Автомобільний транспорт
Освітня програма: Автомобільний транспорт

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедрою автомобілів і
транспортних технологій

_____ В. ОНИЩУК
„_____” _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

_____ Луговському Владиславу Святославовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи:

Оцінка впливу сезонних умов на надійність пневмопідвіски автобуса великого класу.

Керівник роботи: к.т.н., доцент Гандзюк Микола Олександрович

затверджені наказом закладу вищої освіти від 26 листопада 2025 року №499/01-02.

2. Строк подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційної роботи «09» грудня 2025 року.

3. Вихідні дані до роботи: технічні характеристики автобусів VDL Citea SLF120.310, VDL Citea LLE-120 та VDL Berkhof Ambassador 200; показники діяльності ТОВ «Бест Ленад Груп».

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що потрібно розробити):

Вступ.

1. Аналіз стану питання.

2. Теоретичні дослідження.

3. Експериментальні дослідження.

4. Практичне використання результатів.

Висновки.

5. Перелік ілюстративного матеріалу:

Титульний аркуш, мета дослідження, об'єкт дослідження, предмет дослідження, задачі дослідження, основні результати виконаної роботи, висновки.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв

7. Дата видачі завдання «05» лютого 2025 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Аналіз стану питання.	01.09.2025	
2.	Теоретичні дослідження.	01.10.2025	
3.	Експериментальні дослідження.	01.11.2025	
4.	Практичне використання результатів.	20.11.2025	
6.	Висновки.	28.11.2025	
7.	Підготовка презентації.	01.12.2025	
8.	Захист роботи.	Згідно графіка	

Здобувач вищої освіти

(підпис)

В. ЛУГОВСЬКИЙ
(прізвище, ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

(підпис)

М. ГАНДЗІЮК
(прізвище, ініціали)

АНОТАЦІЯ

Луговський В.С. Назва теми: Оцінка впливу сезонних умов на надійність пневмопідвіски автобуса великого класу. Рукопис.

Кваліфікаційна робота магістра ОП «Автомобільний транспорт» спеціальності «274 Автомобільний транспорт».

Луцький національний технічний університет.

Луцьк, 2025.

Магістерська робота складається із вступу, 4 розділів із висновками до кожного з них, загальних висновків та презентації. Робота містить 69 сторінок машинописного тексту, включає 12 таблиць, 34 рисунки, перелік джерел посилання зі 26 джерел вітчизняних і зарубіжних авторів.

Мета дослідження - розробити методику оцінювання впливу сезонних умов на надійність пневмопідвіски автобусів великого класу для розв'язання задачі визначення необхідної кількості запасних частин.

Актуальність дослідження: визначення оптимального рівня запасів елементів підвіски в різні періоди року з урахуванням особливостей експлуатації автобусів та сезонної варіації температури навколишнього середовища, а також інтенсивності опадів, є актуальним завданням, затребуваним практикою та таким, що потребує дослідження.

Завдання дослідження:

1. здійснити огляд і аналіз виконаних досліджень з метою обґрунтування наукової новизни теми;
2. обґрунтувати фактори, що істотно впливають на надійність елементів пневмопідвіски автобусів великого класу;
3. встановити закономірності впливу обраних факторів на показники надійності пневмопідвіски;
4. розробити математичну модель виявлених закономірностей;
5. розробити імітаційну модель формування потреби в елементах пневмопідвіски під час експлуатації автобусів у змінних природно-кліматичних умовах;
6. розробити методику оцінювання впливу сезонних умов на надійність пневмопідвіски автобусів великого класу.

Об'єкт дослідження - процес формування потоку відмов пневмопідвіски автобусів великого класу з урахуванням сезонної варіації природно-кліматичних факторів.

Предмет дослідження - методика оцінювання впливу сезонних умов на надійність пневмопідвіски автобусів великого класу.

Наукова новизна:

- ~ визначено фактори, що впливають на надійність пневмопідвіски автобусів великого класу, та закономірності їх впливу на інтенсивність потоку відмов пневмобалонів;

- ~ розроблено математичні моделі впливу сезонних факторів на інтенсивність відмов пневмопідвіски автобусів великого класу;

- ~ розроблено імітаційну модель формування потреби в елементах пневмопідвіски під час експлуатації автобусів у змінних природно-кліматичних умовах;

- ~ розроблено методику визначення необхідної кількості запасних частин на основі імітаційної моделі та виявлених закономірностей формування потреби протягом року.

Апробація роботи. Основні результати дослідження були представлені, обговорені та схвалені на V студентській науково-технічній конференції ФТМІ “Інноваційні технології в транспорті та механічній інженерії”, 13 листопада 2025 року, м. Луцьк.

За результатами досліджень опубліковано тези: Луговський В. Математичні моделі впливу кліматичних факторів на інтенсивність відмов пневмопідвіски автобусів великого класу / В. Луговський // Тези V студентської науково-технічної конференції факультету транспорту та механічної інженерії «Інноваційні технології в транспорті та механічній інженерії». Луцьк: ЛНТУ - 2025 р. - С 325 - 326.

Ключові слова: автобус, пневмопідвіска, пневмобалон, кліматичні фактори, сезонні умови, запасні частини, надійність, інтенсивність відмов, імітаційна модель, управління запасами.

ANNOTATION

Luhovsky V.S. Title of the topic: Assessment of the Impact of Seasonal Conditions on the Reliability of the Air Suspension of a Large-Class Bus. Manuscript.

Qualification work of the master of educational program "Automotive transport" specialty "274 Automotive transport".

Lutsk National Technical University.

Lutsk, 2025.

The master's thesis consists of an introduction, 4 chapters with conclusions to each, general conclusions, and a presentation. The work contains 69 pages of typescript, includes 12 tables, 34 figures, and a list of 26 references by domestic and foreign authors.

The purpose of the study is to develop a methodology for assessing the influence of seasonal conditions on the reliability of air suspension systems of large-class buses in order to solve the problem of determining the required number of spare parts.

Relevance of the research: determining the optimal stock level of suspension elements during different periods of the year, taking into account the specifics of bus operation, seasonal variations in ambient temperature, and precipitation intensity, is an important and practically demanded task that requires research.

Tasks of the research:

1. To conduct a review and analysis of existing studies in order to substantiate the scientific novelty of the topic;
2. To justify the factors that significantly affect the reliability of air suspension components in large-class buses;
3. To identify patterns of influence of selected factors on air suspension reliability indicators;
4. To develop a mathematical model of the identified patterns;
5. To develop a simulation model for determining the demand for air suspension components under variable natural and climatic conditions of bus operation;

6. To develop a methodology for assessing the impact of seasonal conditions on the reliability of air suspension systems of large-class buses.

The object of the study: the process of forming the failure flow of air suspension systems in large-class buses, taking into account the seasonal variation of natural and climatic factors.

The subject of the study: the methodology for assessing the influence of seasonal conditions on the reliability of air suspension systems of large-class buses.

Scientific novelty:

- ~ Factors affecting the reliability of air suspension systems of large-class buses and the patterns of their influence on the failure intensity of air springs have been identified;
- ~ Mathematical models describing the influence of seasonal factors on the failure intensity of air suspension systems in large-class buses have been developed;
- ~ A simulation model for forming the demand for air suspension components during bus operation in variable natural and climatic conditions has been created;
- ~ A methodology for determining the required quantity of spare parts based on the simulation model and the identified annual demand patterns has been developed.

Approbation of work results. The main research results were presented, discussed, and approved at the 5th Student Scientific and Technical Conference of FTMI “Innovative Technologies in Transport and Mechanical Engineering,” held on November 13, 2025, in Lutsk.

Based on the research results, the following thesis was published: Luhovsky V. *Mathematical Models of the Influence of Climatic Factors on the Failure Intensity of Air Suspension Systems of Large-Class Buses* / V. Luhovsky // Proceedings of the 5th Student Scientific and Technical Conference of the Faculty of Transport and Mechanical Engineering “Innovative Technologies in Transport and Mechanical Engineering.” Lutsk: LNTU, 2025. – pp. 325–326.

Keywords: bus, air suspension, air spring, climatic factors, seasonal conditions, spare parts, reliability, failure intensity, simulation model, inventory management.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	10
1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ.....	13
1.1 Основні тенденції розвитку технічної експлуатації автомобілів.....	13
1.2 Фактори, що впливають на надійність пневмопідвіски та на витрату запасних частин автобусів великого класу.....	17
1.3 Висновки. Завдання досліджень.....	22
2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	24
2.1 Загальна методика досліджень.....	24
2.2 Методика визначення потрібної кількості запасних частин пневмопідвіски автобусів великого класу.....	25
2.3 Схема концептуальної моделі формування потрібної кількості запасних частин.....	27
2.4 Локалізація системи.....	29
2.5 Вплив сезонних змін природно-кліматичних умов на надійність пневмопідвіски автобусів великого класу.....	31
2.6 Математичні моделі впливу кліматичних факторів на інтенсивність відмов пневмопідвіски автобусів великого класу.....	33
2.7 Розробка імітаційної моделі досліджуваної системи.....	35
2.8 Висновки до розділу 2.....	37
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	39
3.1 Мета і завдання експериментальних досліджень.....	39
3.2 Методика проведення експериментальних досліджень.....	39
3.2.1 Загальна методика експериментальних досліджень.....	39
3.2.2 Планування експерименту.....	40
3.2.3 Методика збору даних про інтенсивність експлуатації та відмови автобусів.....	41
3.3 Результати експериментальних досліджень.....	42

3.3.1 Закономірність розподілу напрацювань до відмови пневмопідвіски автобуса великого класу.....	42
3.3.2 Сезонні зміни інтенсивності відмов пневмопідвіски автобусів великого класу.....	46
3.3.3 Перевірка гіпотез про вид математичних моделей впливу температури повітря та частки днів з опадами на інтенсивність відмов пневмопідвіски автобусів великого класу.....	47
3.3.4 Оцінка впливу температури на деформацію пневмобалонів.....	50
3.3.5 Перевірка гіпотези щодо виду багатофакторної моделі впливу сезонних умов на інтенсивність відмов пневмопідвіски автобусів великого класу.....	52
3.4 Висновки до розділу 3.....	55
4 ПРАКТИЧНЕ ВИКОРИСТАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ.....	56
4.1 Ефективність системи відновлення працездатності пневмопідвіски...	56
4.2 Визначення оптимального рівня запасу пневмобалонів на складі.....	60
4.3. Методика визначення необхідної кількості пневмобалонів автобусів великого класу.....	65
4.4 Висновки до розділу 4.....	66
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	67
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	68

ВСТУП

Актуальність дослідження. За низьких температур металеві та полімерні матеріали [3, 6, 10, 16, 18], що застосовуються в конструкції автобусів, стають крихкими, зростає кількість раптових відмов. Практика показує, що кількість відмов у зимовий та осінній час порівняно з літнім зростає у 5-6 разів [3, 6, 10, 14, 16, 18, 19].

Підвищений сніговий покрив разом із низькою температурою підсилюють негативний вплив на вузли та агрегати автомобіля, особливо це стосується деталей пневматичної підвіски. Дослідження показують, що сезонне зниження температури повітря призводить до значного збільшення кількості відмов і простоїв автобусів з цієї причини.

Потреба в запасних частинах для відновлення працездатності пневмопідвіски різниться залежно від періоду року, і це не завжди враховується діючою в автотранспортних підприємствах системою управління запасами на складі. Тому визначення оптимального рівня запасів елементів підвіски в різні періоди року з урахуванням особливостей експлуатації автобусів та сезонної варіації температури навколишнього середовища, а також інтенсивності опадів, є *актуальним* завданням, затребуваним практикою та таким, що потребує дослідження.

Мета дослідження - розробити методику оцінювання впливу сезонних умов на надійність пневмопідвіски автобусів великого класу для розв'язання задачі визначення необхідної кількості запасних частин.

Завдання дослідження:

1. здійснити огляд і аналіз виконаних досліджень з метою обґрунтування наукової новизни теми;
2. обґрунтувати фактори, що істотно впливають на надійність елементів пневмопідвіски автобусів великого класу;
3. встановити закономірності впливу обраних факторів на показники надійності пневмопідвіски;

4. розробити математичну модель виявлених закономірностей;
5. розробити імітаційну модель формування потреби в елементах пневмопідвіски під час експлуатації автобусів у змінних природно-кліматичних умовах;
6. розробити методику оцінювання впливу сезонних умов на надійність пневмопідвіски автобусів великого класу.

Об'єкт дослідження - процес формування потоку відмов пневмопідвіски автобусів великого класу з урахуванням сезонної варіації природно-кліматичних факторів.

Предмет дослідження - методика оцінювання впливу сезонних умов на надійність пневмопідвіски автобусів великого класу.

Наукова новизна дослідження полягає в такому:

- визначено фактори, що впливають на надійність пневмопідвіски автобусів великого класу, та закономірності їх впливу на інтенсивність потоку відмов пневмобалонів;
- розроблено математичні моделі впливу сезонних факторів на інтенсивність відмов пневмопідвіски автобусів великого класу;
- розроблено імітаційну модель формування потреби в елементах пневмопідвіски під час експлуатації автобусів у змінних природно-кліматичних умовах;
- розроблено методику визначення необхідної кількості запасних частин на основі імітаційної моделі та виявлених закономірностей формування потреби протягом року.

Практична цінність і реалізація результатів. За результатами проведених експериментально-теоретичних досліджень розроблено методику, яка дає змогу розраховувати кількість пневмобалонів з урахуванням сезонної варіації інтенсивності та умов експлуатації. Її використання дає можливість зменшити простої автобусів у очікуванні ремонту, що скорочує втрати прибутку.

Апробація роботи. Основні результати дослідження були представлені, обговорені та схвалені на V студентській науково-технічній конференції ФТМІ

“Інноваційні технології в транспорті та механічній інженерії”, 13 листопада 2025 року, м. Луцьк.

За результатами досліджень опубліковано тези: Луговський В. Математичні моделі впливу кліматичних факторів на інтенсивність відмов пневмопідвіски автобусів великого класу / В. Луговський // Тези V студентської науково-технічної конференції факультету транспорту та механічної інженерії «Інноваційні технології в транспорті та механічній інженерії». Луцьк: ЛНТУ - 2025 р. - С 325 - 326.

Структура і обсяг роботи. Робота складається зі вступу, 4 розділів із висновками до кожного з них та загальних висновків. Робота містить 69 сторінок машинописного тексту, включає 12 таблиць, 34 рисунки, перелік джерел посилання із 26 джерел вітчизняних і зарубіжних авторів.

1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ

1.1 Основні тенденції розвитку технічної експлуатації автомобілів

Однією з характерних рис науково-технічної революції є інтенсивний розвиток усіх засобів комунікації суспільства, зокрема транспорту. За останні 20-25 років світовий автомобільний парк збільшився у 4-4,5 рази, досягнувши 300 млн автомобілів. Наприкінці XX століття автомобільний парк перевищив 380...420 млн автомобілів [20].

Експлуатація автомобільного парку пов'язана з вирішенням низки складних науково-технічних, економічних і організаційних проблем [20].

З одного боку - це забезпечення надійного й безпечного функціонування транспортної системи, що потребує збільшення витрат на створення нових, більш надійних і безпечних автомобілів, дорожнє будівництво, формування необхідної виробничої бази, підвищення кваліфікації персоналу, удосконалення засобів обслуговування тощо.

Витрати, пов'язані зі створенням виробничої бази, технічним обслуговуванням і ремонтом, є значними, але навіть за цих умов через відмови окремих вузлів та агрегатів автомобілі простоюють у технічному обслуговуванні та ремонті.

З іншого боку - існує потреба скорочення значних транспортних витрат, у тому числі витрат на технічну експлуатацію автомобілів, що є передумовою подальшого розвитку транспортної системи [20, 25].

Автомобільна та суміжні галузі промисловості забезпечують кількісне зростання і зміну якісного складу парку, спираючись на вимоги споживачів а дорожньо-будівельна галузь і регулювальні органи покращують умови руху.

Наявність відповідної програми дає змогу визначити загальнодержавні, міжгалузеві та галузеві завдання на плановий період [20, 25], конкретизувавши їх у вигляді відповідних планів і необхідних ресурсів. Значний вплив на методи реалізації плану галуззю має політика у сфері заробітної плати, цін і тарифів.

Таблиця 1.1 Середні витрати та капіталовкладення на технічне обслуговування й ремонт автомобілів при сформованих середньорічних пробігах, млн. грн. [9]

Тип автомобіля	Середньорічні витрати на ТО і ТР	У тому числі запасні частини	Капітальні витрати на виробничу базу на один автомобіль
Легковий, індивідуального користування	0,14-0,17	0,06-0,08	0,41-0,43
Легковий, таксі	0,55-0,62	0,25-0,30	3,8-4,4
Вантажний	0,77-0,85	0,20-0,35	3,0-3,2
Автобус	1,25-1,45	0,60-0,75	6,6-7,7

В цих умовах можуть реалізовуватися управління експлуатаційною надійністю та визначення місця служби технічної експлуатації [20]. Для служби технічної експлуатації загальний план перевезень повинен бути трансформований у кількість технічно справних автомобілів, готових до транспортного процесу, і відповідні трудові та матеріальні ресурси.

Узагальнення досвіду [20] показує, що існує стійкий зв'язок між коефіцієнтами випуску $\alpha_{\text{в}}$ та технічної готовності $\alpha_{\text{т}}$. Для транспорту загального користування він описується так:

- для вантажних автомобілів ... $\alpha_{\text{в}}^{\text{в}} = 0,77 \alpha_{\text{т}}^{\text{в}}$
- для автобусів ... $\alpha_{\text{в}}^{\text{а}} = 0,93 \alpha_{\text{т}}^{\text{а}}$
- для автомобілів-таксі ... $\alpha_{\text{в}}^{\text{т}} = 0,92 \alpha_{\text{т}}^{\text{т}}$.

Дослідження експлуатаційної надійності автобусів великого класу на прикладі сімейства автобусів VDL полягає у виділенні характерних родинних сукупностей деталей, вузлів та з'єднань, які мають найбільший вплив на надійність автобусів, а також у проведенні за ними експлуатаційних спостережень з метою визначення для кожної сукупності раціональних нормативів профілактичного обслуговування.

Дані, отримані на пробігу підконтрольної групи автобусів від початку експлуатації до 100 тис. км, наведені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 - Розподіл відмов, середня інтенсивність потоку відмов і напрацювання на відмову автобусів VDL

Агрегати	Автобус VDL Citea SLF120.310 при пробігу від початку експлуатації до 100 тис. км			Автобус VDL Citea LLE120.225 при пробігу від початку експлуатації до 100 тис. км			Автобус VDL Berkhof Ambassador 200 при пробігу від початку експлуатації до 150 тис. км		
	% розподілу відмов	Середній потік відмов, відм./1000 км	Середнє напрацювання на відмову, тис. км	% розподілу відмов	Середній потік відмов, відм./1000 км	Середнє напрацювання на відмову, тис. км	% розподілу відмов	Середній потік відмов, відм./1000 км	Середнє напрацювання на відмову, тис. км
Двигун	17,98	0,30	3,1	15,62	0,22	1,5	16,71	0,24	3,9
Коробка передач	1,70	0,03	34,8	3,12	0,04	22,9	3,34	0,05	20,5
Передній міст	5,63	0,10	10,5	3,39	0,05	21,1	5,19	0,08	13,2
Зчеплення	3,12	0,05	18,9	3,91	0,05	18,3	3,71	0,05	18,5
Рульове керування	5,77	0,10	10,2	4,69	0,06	15,3	7,42	0,11	9,2
Карданна передача	1,63	0,03	36,2	1,30	0,02	55,0	2,23	0,03	30,8
Задній міст	4,29	0,07	13,8	5,22	0,07	13,7	3,15	0,04	21,7
Підвіска	11,74	0,20	5,0	15,88	0,22	4,5	23,19	0,34	2,9
Гальма	12,83	0,22	4,6	10,42	0,15	6,9	7,79	0,12	8,8
Електрообладнання	12,63	0,21	4,6	17,58	0,25	4,1	11,13	0,17	6,1
Кузов	10,50	0,17	5,9	3,64	0,05	19,6	4,64	0,06	14,8
Шини	12,63	0,22	4,7	15,23	0,20	4,7	11,50	0,17	5,9
Усього	100,0	1,70	0,6	100,0	1,40	0,7	100,0	1,46	0,7

Для автобусів VDL Citea SLF120.310 найбільша кількість відмов (17,9 %) припадає на двигун та його системи (охолодження, паливну систему і систему випуску відпрацьованих газів). На гальмівну систему припадає 12,8 %, на шини та електрообладнання - 12,6 %, на підвіску - 11,7 %.

Для автобусів VDL Berkhof Ambassador 200 найбільша кількість відмов - 17,6 % - пов'язана з електрообладнанням. На підвіску припадає 15,8 %, на двигун та його системи - 15,6 %, на шини - 15,2 %, на гальмівну систему - 10,4 %.

Для автобусів VDL Citea LLE120.225 найбільша кількість відмов припадає на підвіску - 23,1 %, на двигун - 16,7 %, на електрообладнання та шини - по 11,5

%, на гальмівну систему - близько 8 %. На основі цих даних побудовано діаграму Парето для цієї модифікації автобусів (рисунок 1.1).

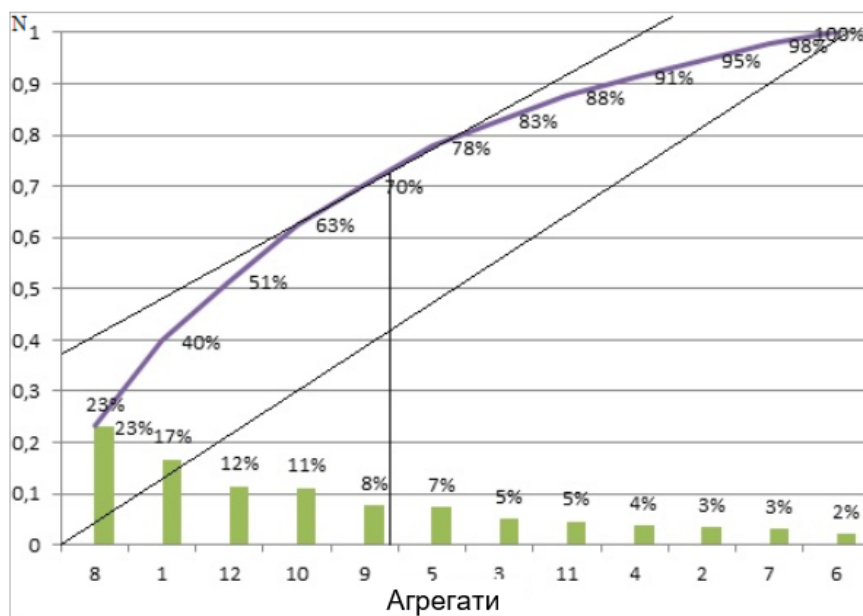


Рисунок 1.1 - Діаграма Парето розподілу відмов для автобусів VDL Citea LLE120.225

1 - задня підвіска; 2 - зчеплення; 3 - електрообладнання; 4 - кузов;
5 - шини; 6 - рульове керування; 7 - коробка передач; 8 - двигун;
9 - гальма; 10 - шини; 11 - карданна передача; 12 - передня підвіска.

Розподіл відмов за іншими агрегатами й системами автобусів є приблизно однаковим.

У двох випадках - для автобусів VDL Citea LLE120.225 та VDL Berkhof Ambassador 200 - найбільша кількість відмов пов'язана з підвіскою. Серед типових відмов:

- злам підкорінного листа №1 і листа корінної ресори;
- зношення подушки додаткової ресори та амортизатора;
- тріщина кронштейна додаткової ресори [17].

Важливо зазначити, що пневмопідвіска, а саме пневмобалон, належить до переліку лімітуючих деталей [17, 18]. Існує три способи визначення переліку деталей, які обмежують (лімітують) надійність.

Одним із прикладів визначення переліку деталей, критичних за надійністю, є ABC-аналіз.

Графічний метод є найбільш наочним і забезпечує достатню для практичних цілей точність. Для цього необхідно скласти спадаючий ряд кількості відмов деталей пневмопідвіски. Отриманий ряд подають у вигляді графіка (рисунок 1.1), де на осі ординат наведено значення кількості відмов для кожної з деталей, а на осі абсцис - значення кількості найменувань деталей n . Через отримані точки проводять плавну криву. На побудованій кривій визначають точку перегину, у якій спостерігається помітне зниження кількості відмов, і з неї опускають перпендикуляр на вісь абсцис. Точка перетину з віссю визначає кількість найменувань деталей, які слід віднести до таких, що лімітують надійність.

У даному випадку 5 систем увійшли до переліку критичних за надійністю - це двигун, передня та задня підвіска, шини та гальма, які разом становлять близько 70% від загальної кількості критично важливих деталей [20].

Найважливішими елементами автомобіля є механізми підвіски. Особливо актуальним питання надійності підвіски є для автобусів великого класу, оскільки від її стану суттєво залежать комфорт і безпека пасажирів [14].

1.2 Фактори, що впливають на надійність пневмопідвіски та на витрату запасних частин автобусів великого класу

Надійність пневмопідвіски залежить від великої кількості факторів, які, у свою чергу, можна поділити на кліматичні, дорожні, фактори режиму роботи тощо. До кліматичних факторів належать температура (її високі та низькі значення), частка днів з опадами, вологість, сонячна радіація, тумани, пилові бурі (рисунок 1.3).

Зміни властивостей матеріалів залежать не лише від наявності перелічених факторів, але й від інтенсивності та тривалості їхнього прояву. Слід зазначити, що кліматичні фактори посилюють відмови, які виникають унаслідок дії сил тертя, втомних явищ у металі, випадкових перевантажень та інших проявів зношування деталей.

На рисунку 1.2 показано вплив кліматичних факторів на автомобіль.

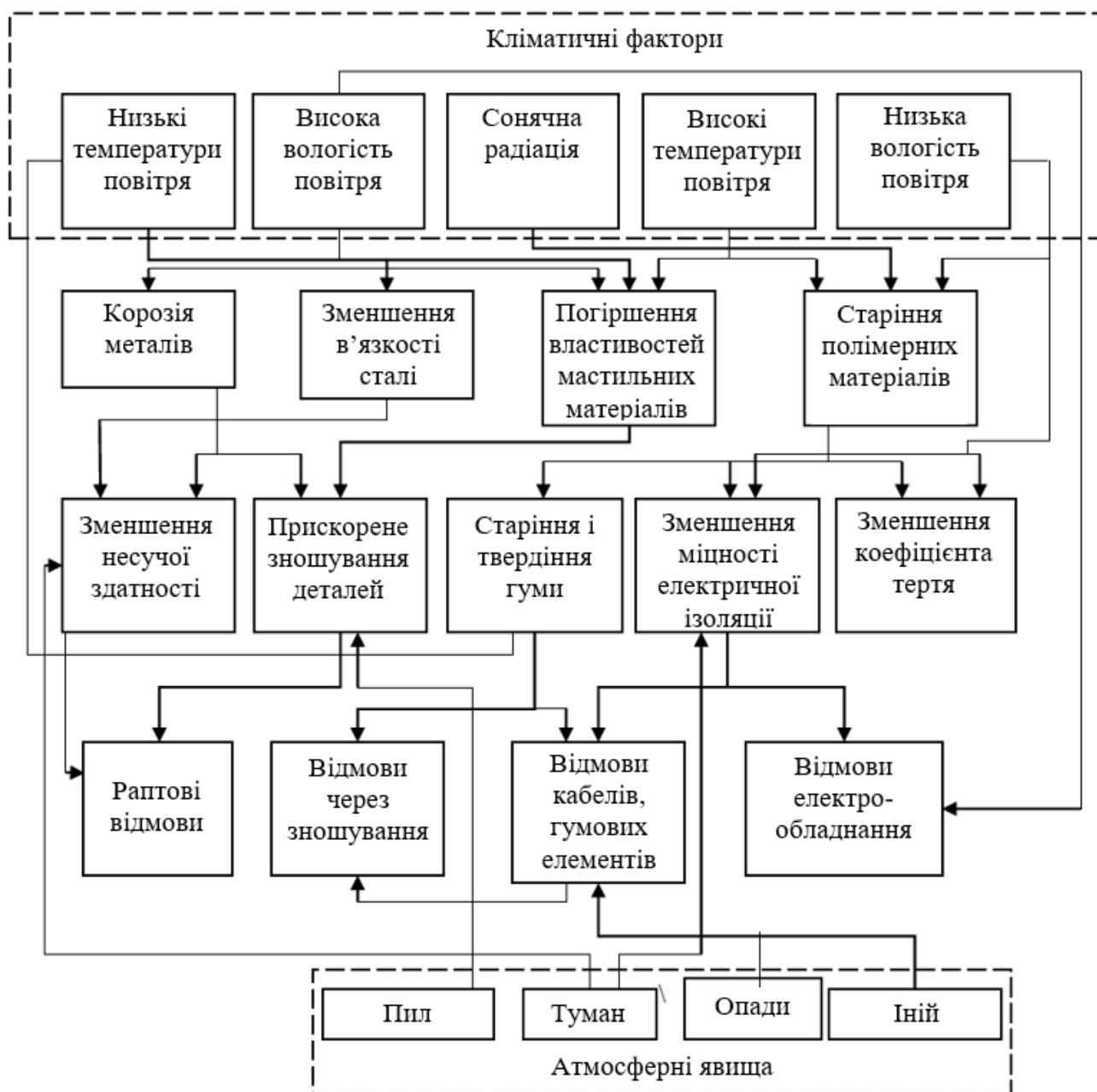


Рисунок 1.2 - Схема комплексного впливу основних кліматичних факторів і атмосферних явищ на надійність об'єктів

На рисунку 1.3 показано класифікацію факторів, що впливають на витрату запасних частин. Більшість авторів беруть за основу саме цю класифікацію, доповнюючи її результатами нових досліджень. Сукупність факторів, що визначають потребу в запасних частинах, зазвичай поділяють на чотири групи: конструктивні, експлуатаційні, технологічні та організаційні [10, 20].



Рисунок 1.3 - Класифікація факторів, що впливають на витрату автомобільних запасних частин

Можна виділити три основні типи факторів, які впливають на технічний стан автомобіля. Перший - конструктивні фактори, що визначаються формою, розмірами деталей, жорсткістю конструкції тощо. Технологічні фактори залежать від якості матеріалів, використаних для виготовлення деталей, відповідної термічної обробки та складання. На технічний стан автомобіля найбільше впливають саме перелічені фактори [10, 20].

Говорущенко Н. Я. запропонував розподіляти запасні частини на чотири види. Перший вид - деталі, від яких залежить безпека руху (у процесі експлуатації вони періодично замінюються незалежно від їхнього фактичного стану). Другий вид - деталі, строк служби яких дорівнює пробігу автомобіля до капітального ремонту (у процесі експлуатації не змінюються). Третій вид - деталі, що мають обмежений строк служби і заміна яких передбачена під час експлуатації автомобіля. Четвертий вид - деталі, заміна яких супроводжує заміну деталей перших трьох груп (прокладки, ущільнення, кріпильні елементи тощо).

На автотранспортних підприємствах основну увагу слід приділяти забезпеченню запасними частинами першої, третьої та четвертої груп. Строк служби агрегатів і окремих деталей значною мірою залежить від умов експлуатації автомобілів. Тому на кожному автотранспортному підприємстві необхідно вести статистичний аналіз строків служби окремих вузлів і деталей та на цій основі здійснювати планування і забезпечення запасними частинами [20].

Як метод виявлення найбільш значущих факторів використовується апріорне ранжування.

На початковому етапі дослідження готується анкета. До анкети включено 5 факторів, що впливають на надійність автобуса. В експерименті брали участь 7 експертів - фахівців з транспорту ТОВ «Бест Ленад Груп».

Було розглянуто такі фактори:

- кваліфікація водія;
- дорожні умови;
- інтенсивність експлуатації;
- природно-кліматичні умови;
- вік автомобіля (втрата працездатності).

Матриця рангів, отримана з анкет, наведена в таблиці 1.3.

Оцінка узгодженості думок експертів проводилась за коефіцієнтом конкордації

$$W = \frac{12 \cdot 341}{5 \cdot 7^3 - 7} = 0,62.$$

Незважаючи на те, що отримане значення коефіцієнта конкордації значно відрізняється від нуля, перевіримо його значущість за критерієм Пірсона

$$\chi^2 = \frac{12 \cdot 341}{7 \cdot 7 + 7} = 18,73.$$

Таблиця 1.3 - Експертний аналіз факторів

№ експерта	X1 - кваліфікація водія	X2 - дорожні умови	X3 - технічний стан (втрата працездатності)	X4 - природно- кліматичні умови	X5- вік автомобіля
1	5	3	4	1	2
2	4	2	3	1	5
3	5	4	3	1	2
4	5	2	1	2	3
5	5	2	4	1	2
6	5	3	2	1	4
7	5	4	2	1	3
Σ	34	20	19	8	21
Δi	-13,6	0,4	1,4	12,4	-0,6
$(\Delta i)^2$	184,96	0,16	1,96	153,76	0,36

Гіпотеза про наявність узгодженості думок експертів може бути прийнята, якщо за заданої кількості ступенів свободи табличне значення є меншим за розрахункове для 5% похибки.

За 5% рівня похибки та числа ступенів свободи $f = 6$ табличне значення критерію становить 12,6. Отже, думка експертів узгоджена. Побудуємо діаграму рангів для розглянутих факторів (рисунок 1.4).



Рисунок 1.4 - Діаграма апіорного ранжування факторів

Таким чином, за результатами проведеного експерименту встановлено, що найбільший вплив на надійність пневмопідвіски автобусів мають природно-кліматичні умови, далі - у порядку спадання – кваліфікація водія; вік автобуса; дорожні умови; технічний стан.

1.3 Висновки до розділу 1. Завдання досліджень

За результатами аналізу необхідно зробити такі висновки.

На інтенсивність потоку відмов автомобілів впливає багато факторів. Слід зазначити, що вплив сезонних умов вивчено недостатньо повно.

Як показують представлені вище дослідження [10, 14, 15, 16, 17, 18] одними з найважливіших сезонних факторів (що значно змінюються в різні періоди року), що впливають на надійність автомобіля та його систем, є температура повітря та інші природно-кліматичні фактори.

Раніше було встановлено закономірності впливу таких факторів на надійність автомобілів. Вплив сезонних умов на надійність автобусів великого класу та окремих елементів підвіски відображено у дослідженнях багатьох учених. Проведено низку досліджень щодо впливу температури повітря на надійність автомобіля та окремих його елементів.

Багато дослідників зазначають, що протягом календарного року кількість відмов змінюється циклічно, це дозволяє зробити припущення про наявність фактора сезонності.

Загалом слід зазначити, що механізм формування відмов під впливом факторів такого виду недостатньо досліджений.

Це дозволило сформулювати такі *завдання* дослідження.

1. Здійснити огляд та аналіз виконаних досліджень з метою обґрунтування наукової новизни досліджуваної теми.

2. Обґрунтувати чинники, що значуще впливають на надійність елементів пневмопідвіски автобусів великого класу;

3. Встановити закономірності впливу обраних чинників показники надійності пневмопідвіски;
4. Розробити математичну модель знайдених закономірностей;
5. Розробити імітаційну модель формування потреби в елементах пневмопідвіски під час експлуатації автобусів у змінних природно-кліматичних умовах;
6. Розробити методику оцінки впливу сезонних умов на надійність пневмопідвіски автобусів великого класу та оцінити економічний ефект від практичного використання отриманих результатів.

2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Загальна методика досліджень

Спираючись на висновки та завдання, викладені наприкінці першого розділу, а також поставлену мету, були сформульовані об'єкт, предмет, гіпотези та загальна методика досліджень.

Об'єкт дослідження - процес формування потоку відмов пневмопідвіски автобусів великого класу з урахуванням сезонної варіації природно-кліматичних факторів.

Предмет дослідження - методика оцінювання впливу сезонних умов на надійність пневмопідвіски автобусів великого класу.

Для розв'язання поставлених завдань частково використовувалися результати аналізу раніше проведених досліджень з аналогічної проблематики.

У основу теоретичних досліджень (рисунок 2.1) покладено системний підхід. Відповідно до нього на першому етапі необхідно скласти схему досліджуваної системи, визначити її входи та виходи. У подальшому система структурується. Вид структури визначається елементами, що входять до її складу. Далі встановлюються взаємозв'язки між цими елементами.

Одним із найважливіших етапів досліджень за наведеною схемою є відбір факторів, що суттєво впливають на інтенсивність відмов пневмопідвіски автобусів великого класу. На підставі раніше проведених досліджень попередньо складено перелік сезонних факторів. Необхідною умовою їх відбору є схильність до сезонної варіації. Після цього оцінювалися кореляційні зв'язки між ними та відбиралися незалежні фактори.

Для створення моделі, що визначає, яким чином сезонні природно-кліматичні фактори впливають на потік відмов пневмопідвіски автобусів великого класу, використано емпіричний підхід. За основу була висунута гіпотеза щодо виду моделі, після чого визначено числові значення її параметрів. Далі

проводився експеримент, за результатами якого робився висновок щодо адекватності запропонованої моделі.



Рисунок 2.1 - Загальна схема дослідження

2.2 Методика визначення потрібної кількості запасних частин пневмопідвіски автобусів великого класу

Для встановлення закономірностей формування потоку відмов пропонується використовувати системний підхід [13, 17].

Як етапи дослідження можна виділити такі:

- визначення критерію ефективності функціонування досліджуваної системи;

- структурування системи (виокремлення окремих елементів);
- дослідження закономірностей і залежностей між елементами;
- моделювання системи;
- визначення шляхів практичного використання результатів.

Цільову функцію визначено як *мінімум витрат на експлуатацію*. Перед транспортним підприємством головним завданням є виконання обсягу транспортної роботи у заданому інтервалі часу [10, 20].

Цільова функція набуває вигляду:

$$3\Sigma \rightarrow \min. \quad (2.1)$$

Розглядаючи компоненти, що формують 3Σ , можна зазначити залежність складових від формування потоку відмов. Головним у цільовій функції є витрати на поточний ремонт автомобілів. Важливо врахувати, що частина витрат пов'язана з транспортуванням, зберіганням, підтриманням рівня запасів запасних частин у межах поточної діяльності та страхових випадків. Одним із важливих аспектів управління запасами в організації є обсяг оборотних коштів, вкладених у структуру запасів.

$$3_{заг} = 3_{втрач} + 3_{вир} + 3_{збер} + 3_{придб} \rightarrow \min \quad (2.2)$$

де $3_{втрач}$ - втрачений прибуток через простой рухомого складу, спричинені дефіцитом запасних частин;

$3_{вир}$ - втрати, пов'язані з простоєм основного виробництва (невиходу автомобіля на лінію) через відсутність бригади робітників;

$3_{збер}$ - втрати, пов'язані зі зберіганням запасних частин на складі;

$3_{придб}$ - витрати, пов'язані з придбанням запасних частин.

У зв'язку з цим критерій мінімуму сумарних витрат можна подати у такому вигляді (рисунок 2.2).

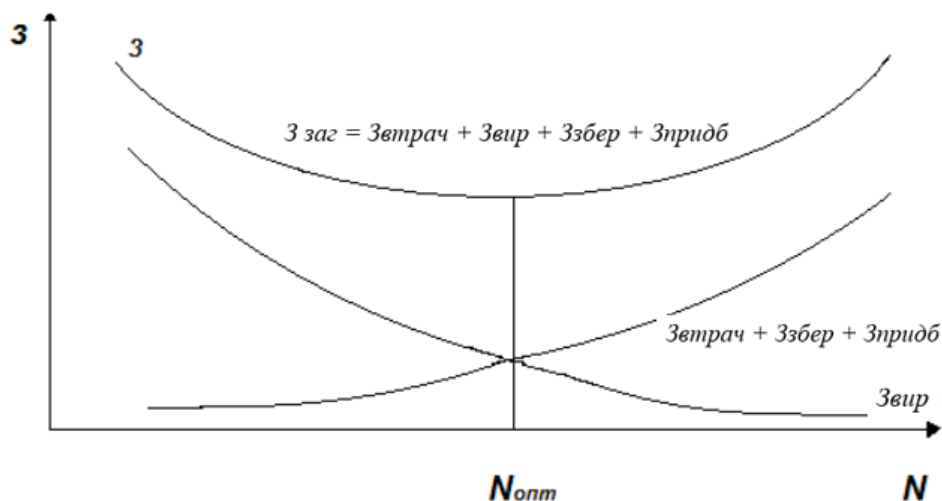


Рисунок 2.2 - Визначення потрібної кількості запасних частин $N_{зап}$ за критерієм мінімуму сумарних витрат

На підприємстві важливо зберегти баланс між низькою собівартістю використання автомобільного транспорту та підтриманням належного рівня запасів, який забезпечував би безперебійну роботу автомобілів.

У такому варіанті критерій успішності функціонування досліджуваної системи вимірюється рівнем забезпечення надійності автомобіля. У зв'язку з цим можна забезпечити безперебійну роботу рухомого складу та основного виробництва.

2.3 Схема концептуальної моделі формування потрібної кількості запасних частин

У більшості раніше виконаних досліджень зі спорідненої тематики розглядувана система подається у вигляді «чорної скриньки», де аналізується лише зв'язок між входом і виходом. Однак недоліком такого підходу є вузька сфера застосування, тобто неможливість поширення значень параметрів моделей за межі умов, для яких вони були визначені. Щоб усунути цей недолік, необхідно встановити також закономірності взаємодії елементів досліджуваної системи.

На рисунку 2.3 подано схему концептуальної моделі, яка дає змогу врахувати ці закономірності.



Рисунок 2.3 - Схема концептуальної моделі визначення кількості запасних частин

Частина закономірностей (зміна інтенсивності та умов експлуатації з часом) належить до рядів динаміки. Значення вихідних параметрів формують трендові, періодичні та випадкові компоненти.

Потрібна кількість запасних частин у загальному випадку залежить від інтенсивності відмов λ та напрацювання всіх автомобілів за розглядуваний період

$$Nonm = f(\lambda, L_{заг}). \quad (2.3)$$

Далі в цьому розділі висуваються гіпотези щодо виду математичних моделей. У розділі 3 здійснювалася експериментальна перевірка цих гіпотез.

2.4 Локалізація системи

Локалізація системи зводиться до відбору значущих факторів, що визначають вплив на надійність елементів пневмопідвіски.

Першим із таких факторів є температура повітря, яка змінюється в часі (T) і, виходячи з цього, формує три компоненти (середньорічні, середньомісячні та добові коливання). При цьому важливо враховувати амплітуду середньомісячних значень температури повітря порівняно зі середньорічними значеннями (у цьому випадку можна вказати на сезонну складову). Однак слід зазначити, що добові коливання температури формують середньомісячні значення і, відповідно, випадкову складову. У загальному вигляді

$$t_{нов} = f(T). \quad (2.4)$$

Другим фактором за впливом на надійність елементів пневмопідвіски є опади. Інтенсивність опадів (h_{on}) значною мірою залежить від вологості, а вологість, у свою чергу, залежить від температури повітря і календарного часу

$$h_{on} = f(T, t_{нов}). \quad (2.5)$$

Третім фактором є інтенсивність експлуатації, яка в загальному випадку змінюється з часом. Під інтенсивністю експлуатації насамперед розуміють пробіг автомобіля за певний проміжок часу, наприклад, за добу. Вона характеризується середньорічними, середньомісячними та середньодобовими значеннями

$$l = f(T). \quad (2.6)$$

Для автобусів великого класу, призначених для перевезення пасажирів за фіксованими маршрутами, характерна відносна сталість інтенсивності, і вона не зазнає сезонних змін.

Від інтенсивності експлуатації залежить пробіг з початку експлуатації (наробіток), який із часом змінюється під час виконання автомобілем транспортної роботи

$$L = f(T). \quad (2.7)$$

Перелічені фактори формують інтенсивність відмов. Якщо інтервал часу між подіями (відмовами) розподілений за експоненціальним законом, то кількість подій у заданому інтервалі розподілена за законом Пуассона. Інтенсивність відмов залежить від умов експлуатації X і пробігу з початку експлуатації

$$\lambda = f(X, L). \quad (2.8)$$

Крім перелічених факторів, необхідно також враховувати рівень організації системи управління запасами O . Він впливає на час простою в системі t_0 (простої через відсутність запасних частин) і може бути виражений таким чином

$$t_0 = f(O, T, \lambda, N_{pp}). \quad (2.9)$$

Після визначення факторів занесемо їх у таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 - Початковий перелік факторів впливу

Найменування фактора	Найменування показників фактора	Буквене позначення
Температура повітря	Середня місячна температура, °C	t
Вологість (у зимовий період)	Кількість днів з опадами за місяць, од.	N
	Частка днів з опадами за місяць	D
	Середня кількість опадів за добу, мм	h

2.5 Вплив сезонних змін природно-кліматичних умов на надійність пневмопідвіски автобусів великого класу

Як було зазначено вище, потреба у запасних частинах для пневмопідвіски автобусів залежить від інтенсивності відмов і загального пробігу автобусів за розглянутий період. Для моделювання процесу формування потоку відмов необхідно встановити вплив сезонних умов на інтенсивність відмов. При цьому важливо розуміти фізичну сутність процесів, що визначають інтенсивність відмов.

У попередньому розділі розглянуто сезонні фактори, що впливають на інтенсивність відмов. У таблиці 2.2 наведено вплив природно-кліматичних факторів на фізичні властивості пневмопідвіски.

Таблиця 2.2 - Вплив сезонних природно-кліматичних факторів на властивості пневмопідвіски

Найменування фактора	Показники фактора	Вплив фактора
Температура повітря	Середньомісячна температура	Втрата еластичності, міцності
Опади	Кількість днів з опадами за місяць	Стадія деформації, розрив
	Інтенсивність опадів	Стадія деформації, розрив

На рисунку 2.4 представлено 3-D модель пневмобаллона автобуса, зазначено утворення льоду на напрямній і рукавному елементі для автобуса великого класу VDL Citea LLE120.225.

Пневмобалон складається з 2-х шарів тканинного корду, поліамідних ниток, які забезпечують гнучкість балона, герметизувального шару еластомера, сталевого дроту, що обмотує корд, та синтетичного каучуку. Поліамідні нитки, своєю чергою, поділяються на еластомери й термопласти. Еластомери - це полімери з високоеластичними властивостями. Термопласти - це один із видів полімерів, що характеризується низькою температурою склування. На автобусах, які використовуються в ТОВ «Бест Ленад Груп», встановлені пневмобалони на

основі термопластів. Вони мають нижчу, порівняно з натуральним каучуком, температуру склування, що за низьких температур докiлля впливає на гнучкість тканини (поліамідних ниток), призводить до затвердіння матеріалу та його руйнування.

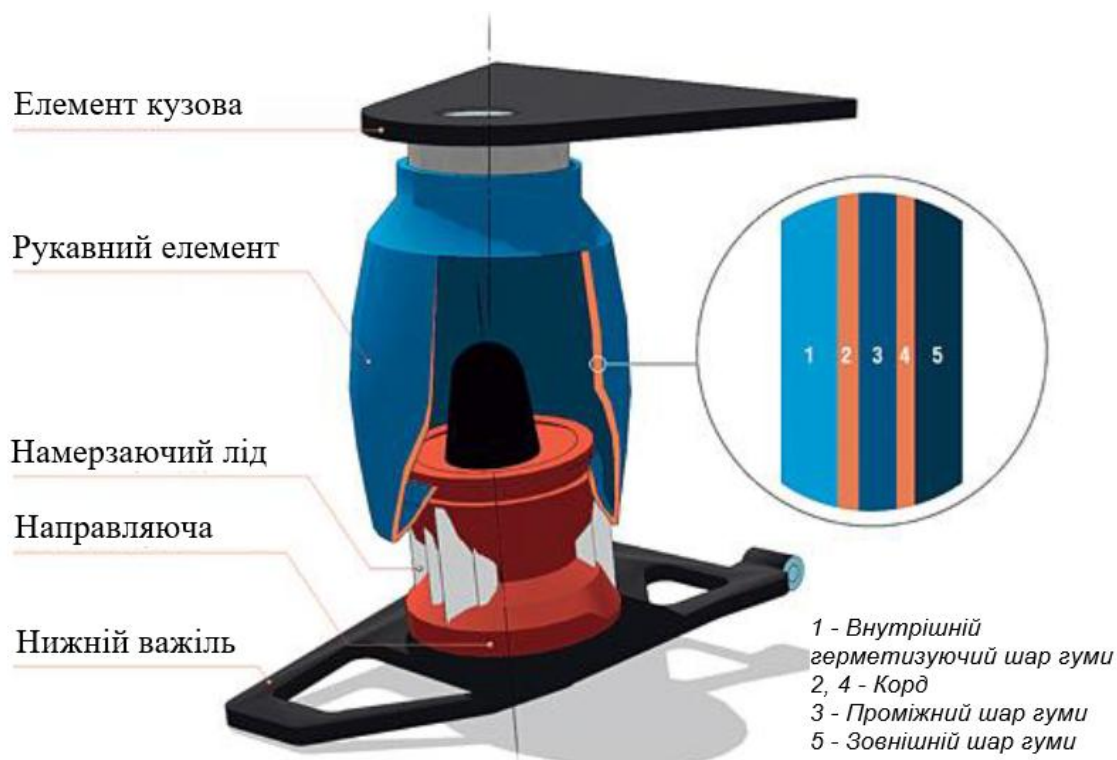


Рисунок 2.4 - 3D модель пневмобалона автобуса
VDL Citea LLE120.225

У зимовий період на пневмопідвіску впливають низька температура повітря та опади (сніг). За низької температури повітря відбувається руйнування полімерного матеріалу термопласта. Рух автобусів великого класу часто здійснюється засніженими дорогами, що призводить до налипання снігу в зоні колісних арок. Під час руху автобуса відбувається обledenіння пневмобалона та захисного кожуха біля колеса. Це згодом призводить до протирання й розриву корду та відмови пневмобалона.

У літній період зазвичай відбувається зрив затискного кільця та гумокордового рукавного елемента. Гумокордовий рукав складається з гумової оболонки та внутрішнього металевих каркаса. Через зрив затискного кільця відбувається потрапляння води на металевий каркас (сталевий дріт, що його

обмотує). До наступного сезону у пневмобалона виникає відмова через розрив каркаса або мікротріщини в пневмобалоні.

2.6 Математичні моделі впливу кліматичних факторів на інтенсивність відмов пневмопідвіски автобусів великого класу

Під час розроблення математичних моделей впливу кліматичних факторів на інтенсивність відмов пневмопідвіски застосовувався емпіричний підхід. Спочатку на основі аналізу асимптотики залежностей висуваються гіпотези щодо виду моделей, потім на основі експерименту ці гіпотези перевіряються та визначаються числові значення параметрів.

Проведений аналіз показав, що серед природно-кліматичних факторів найбільший вплив на надійність пневмопідвіски мають температура повітря t і частка днів із опадами D . Для розроблення гіпотез щодо виду математичних моделей їх впливу на інтенсивність відмов пневмобалонів розглянемо фізичні процеси, що визначають їхню надійність.

За зміни температури повітря змінюється еластичність і міцність на розрив матеріалів пневмобалонів. За низьких температур матеріали втрачають еластичність, їх деформація веде до появи тріщин. За певної кількості циклів навантаження відбувається розрив балона. За підвищення температури матеріал стає еластичнішим, але за високих температур знижується його міцність, що підвищує ймовірність руйнування під час роботи підвіски.

Враховуючи викладене, можна припустити, що залежність інтенсивності відмов пневмобалона від температури навколишнього повітря близька до параболи з мінімумом у районі 10...20 °C. Для її опису може бути використаний поліном 2-го ступеня

$$\lambda = a_0 + a_1 t + a_2 t^2, \quad (2.10)$$

де $a_0...a_2$ - параметри моделі (емпіричні коефіцієнти).

Вплив частки днів із опадами на інтенсивність відмов неоднозначний. За температури повітря нижче 0°C збільшення D веде до утворення стійкого обледеніння елементів підвіски й механічного впливу на пневмобалон, що підвищує ймовірність відмови. За додатних температур збільшення D може, навпаки, позитивно впливати на умови роботи пневмобалона завдяки його охолодженню дощовою водою. Тому припустимо, що ця закономірність описується степеневою функцією

$$\lambda = b_1 D^{b_2}, \quad (2.11)$$

де b_1, b_2 - параметри моделі (емпіричні коефіцієнти).

Для розроблення багатofакторних моделей вихідні однофакторні моделі перемножуються. Після цього коефіцієнти моделі позначаються новими символами. Отримуємо багатofакторну модель зі змішаними ефектами

$$\lambda = A_0 + A_1 t + A_2 t^2 + A_3 t D^{A_6} + A_4 t^2 D^{A_6} + A_5 D^{A_6}, \quad (2.12)$$

де $A_0 \dots A_6$ - параметри моделі.

Далі необхідно з'ясувати доцільність використання змішаних ефектів. Для цього потрібно порівняти модель головних ефектів

$$\lambda = A_0 + A_1 t + A_2 t^2 + A_3 D^{A_4} \quad (2.13)$$

і модель зі змішаними ефектами після проведення імітаційного експерименту.

2.7 Розробка імітаційної моделі досліджуваної системи

Ефективність автомобільного транспорту залежить від умов експлуатації, які змінюються по сезонах року. Найбільш значно варіюють температура повітря, кількість опадів і дорожні умови [20]. За суттєвих сезонних змін відомі методи планування технічного обслуговування (*ТО*) і ремонту (*ПР*) не завжди забезпечують потрібний рівень працездатності: нормативи ресурсу елементів автомобілів і витрати запасних частин не відповідають фактичній довговічності; періодичність *ТО* не забезпечує технічної готовності; параметри виробничо-технічної бази не відповідають реальним у виробничих площах, постах *ТО* і *ПР* [20].

Це зумовлено тим, що теоретичні основи використовуваних систем *ТО* і *ПР*, методики коригування нормативів недостатньо враховують змінний характер природно-кліматичних умов. При цьому нормування витрат запасних частин на рівні автомобіля здійснюється за напрацюванням, а на рівні підприємства - за часом. Це невідповідність може впливати на точність розрахунків, причому сила впливу залежить від варіації природно-кліматичних умов у часі.

Від надійності підвіски автобусів залежать комфорт та безпека пасажирів [1, 9]. У конструкції підвіски використовуються пневмобалони. У зимовий період суттєво зростає кількість їх відмов порівняно з літнім сезоном. Це призводить до нерівномірної потреби у запасних частинах. Для запобігання простоям автобусів через відсутність запасних частин, а також уникнення надлишкових запасів необхідно знати закономірності формування потоку відмов пневмопідвіски автобусів великого класу з урахуванням впливу сезонної варіації умов експлуатації, що дозволяє вдосконалити на цій основі методику визначення потреби в запасних частинах.

На першому етапі досліджень встановлено повний перелік факторів, що впливають на надійність підвіски. Потім проведений попередній відбір на основі результатів раніше виконаних досліджень і висунута гіпотеза щодо переліку значущих факторів. Остаточний відбір здійснювався на основі результатів експерименту, виконаного в ТОВ «Бест Ленад Груп».

Далі було розроблено структуру досліджуваної системи. Загальна схема імітаційної моделі системи управління запасами розроблена на основі базових моделей формування якості автомобілів.

Під час розроблення гіпотез щодо виду математичних моделей взаємодії елементів системи на першому етапі проведено аналіз змістовної сутності досліджуваної залежності. Потім висунуті гіпотези щодо виду однофакторних моделей. Перевірка їх адекватності виконана на основі експериментальних досліджень (див. розділ 3). На їх основі розроблено багатофакторну регресійну модель.

Оскільки умови експлуатації автобусів змінюються у часі випадковим чином, то для визначення кількості відмов у різні періоди року необхідно використовувати імітаційну модель.

Алгоритм імітаційної моделі представлений на рисунку 2.5.

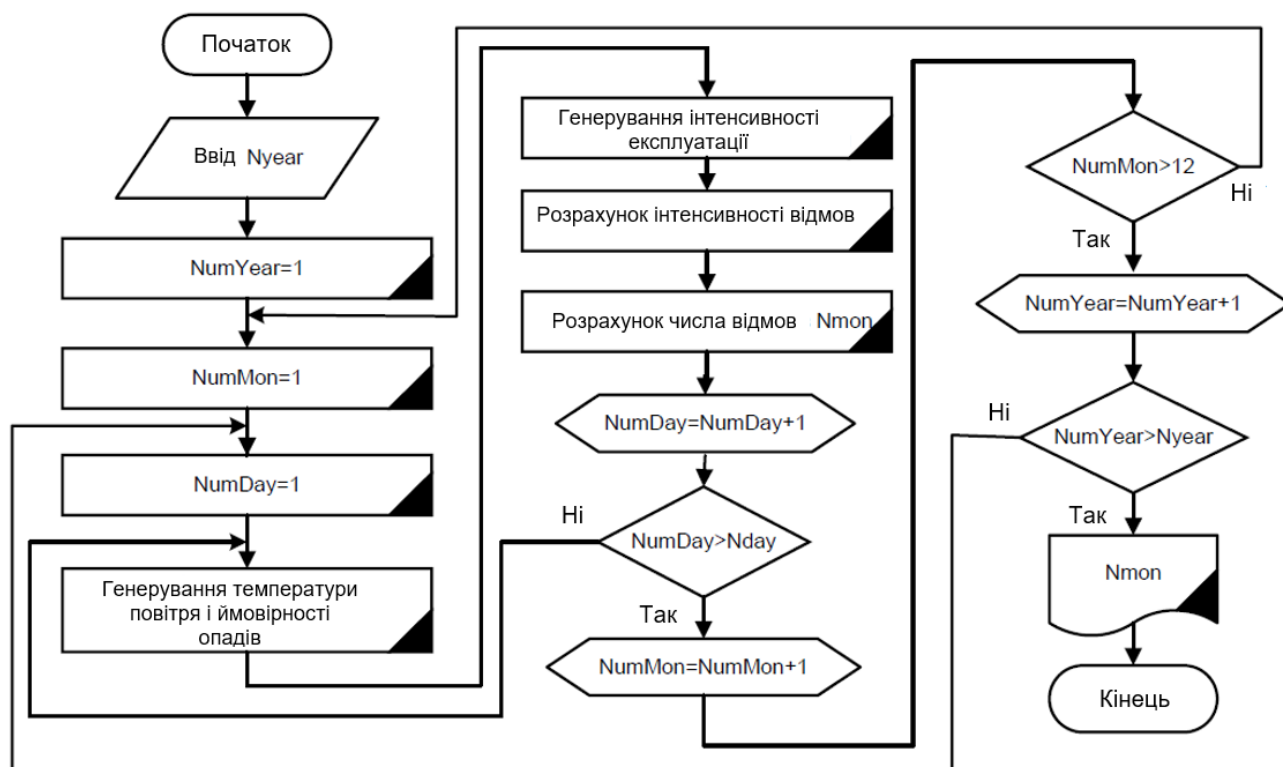


Рисунок 2.5 - Алгоритм імітаційної моделі впливу сезонних змін температури навколишнього середовища та інтенсивності опадів на кількість відмов пневмопідвіски автобусів

Спочатку задається кількість річних циклів моделювання N_{year} , потім поточним номерам року, місяця і дня присвоюються початкові значення. Далі генерується значення температури повітря та ймовірності опадів, а також пробігу автобусів.

На наступному етапі генерується інтенсивність відмов пневмобалонів. Отримані значення перемножуються на інтенсивність експлуатації та кількість автобусів для розрахунку кількості відмов.

Номер дня збільшується на одиницю, і перевіряється умова закінчення місяця. Якщо номер дня не перевищує кількість днів у місяці, то повторюється денний цикл розрахунку кількості відмов, в іншому випадку номер місяця збільшується на одиницю, і перевіряється умова закінчення року. Якщо номер місяця не перевищує 12, то повторюється цикл розрахунку кількості відмов, в іншому випадку номер року збільшується на одиницю, і перевіряється умова закінчення моделювання. Якщо умова закінчення моделювання не досягнута, розрахунки продовжуються за заданим циклом, в іншому випадку виводяться результати моделювання, і розрахунки завершуються.

Випадкові компоненти температури повітря, опадів та інтенсивності експлуатації автобусів формують випадкову складову кількості відмов. Отримані на моделі розподіли кількості відмов дають змогу оцінити не лише середню потребу в замінах пневмобалонів за місяцями, але й визначити запас балонів, необхідний для запобігання простоям автобусів через їх відсутність із заданою ймовірністю.

2.8 Висновки до розділу 2

Досліджено фізичні процеси, що відбуваються у конструкції пневмобалонів із різних матеріалів під впливом зовнішніх факторів. Установлено взаємозв'язок між зміною фізичного стану матеріалу пневмобалона та рівнем його надійності. Визначено фактори, що найбільш суттєво знижують надійність пружного елемента пневмопідвіски.

Розроблено гіпотези щодо виду математичних моделей впливу природно-кліматичних факторів на інтенсивність відмов пневмопідвіски.

Розроблено імітаційну модель впливу сезонних змін температури та інтенсивності опадів на кількість відмов пневмопідвіски автобусів.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Мета і завдання експериментальних досліджень

У процесі експерименту послідовно були розв'язані такі завдання:

1. Визначення значущості факторів, обраних за результатами експертних оцінок.
2. Перевірка гіпотези щодо виду математичних моделей сезонних змін температури навколишнього середовища та інтенсивності опадів і визначення числових значень їх параметрів.
3. Перевірка гіпотези щодо виду математичної моделі впливу температури навколишнього середовища та інтенсивності опадів на інтенсивність відмов пневмопідвіски автобусів великого класу.
4. Визначення числових значень параметрів математичної моделі впливу температури навколишнього середовища та інтенсивності опадів на інтенсивність відмов пневмопідвіски автобусів великого класу.

3.2 Методика проведення експериментальних досліджень

3.2.1 Загальна методика експериментальних досліджень

У роботі експеримент проводиться у три етапи.

Перший етап - збір статистичних даних щодо температури повітря та добової інтенсивності опадів.

Другий етап - збір даних щодо кількості відмов пневмопідвіски автобусів в експлуатації.

Третій етап - обробка результатів експерименту та їх аналіз.

В експерименті брали участь 3 марки автобусів великого класу. Для кожної моделі автобуса був зібраний необхідний обсяг інформації: пробіг автобуса на момент відмови, кількість відмов, час проходження *ТО*, час простою автобуса через відсутність запасних частин та кількість деталей, придбаних для заміни.

Таблиця 3.1 - Автобуси великого класу з пневмопідвіскою, що експлуатуються в ТОВ «Бест Ленад Груп»

№ п/п	Марка	Спискова кількість
1	VDL Citea SLF120.310	5
2	VDL Citea LLE120.225	7
3	VDL Berkhof Ambassador 200	11

3.2.2 Планування експерименту

Планування експерименту передбачає складання матриці експерименту, а також визначення обсягу вибірки у кожній точці матриці плану.

У роботі для розв'язання завдань експериментальних досліджень використано пасивний експеримент - збір статистичних даних.

Раніше в роботі було висунуто припущення, що розподіл напрацювань до відмови пневмопідвіски підпорядковується закону Вейбулла.

У подібних випадках, коли попередній аналіз показував, що розподіл суттєво відрізняється від нормального, відносна помилка розраховується з використанням імовірнісного калькулятора, наприклад програми «REGRESS 2.5» після вибору відповідного закону розподілу.

У таблиці 3.2 наведено частину матриці плану експерименту. Обсяги вибірки в кожній точці плану визначалися виходячи з довірчої помилки 0,10 і довірчої ймовірності 0,90 за відомою методикою виконання повнофакторного експерименту.

Таблиця 3.2 - Загальний вигляд матриці плану експерименту з інтенсивності відмов пневмопідвіски

Номер місяця	Календарний час (місяць)	Інтенсивність відмов, 1/1000 км
1	Січень	λ_1
2	Лютий	λ_2
...	...	...
12	Грудень	λ_{12}

Аналіз статистичних даних щодо відмов пневмопідвіски на підприємстві підтвердив, що найбільш значущими факторами, що впливають на надійність пневмобалонів, є температура повітря, частка днів із опадами та інтенсивність експлуатації. Збір даних про фактичну температуру (див. рисунок 3.1) й добову інтенсивність опадів проводився на основі статистичних даних архіву погоди по місту Луцьк за п'ять років.

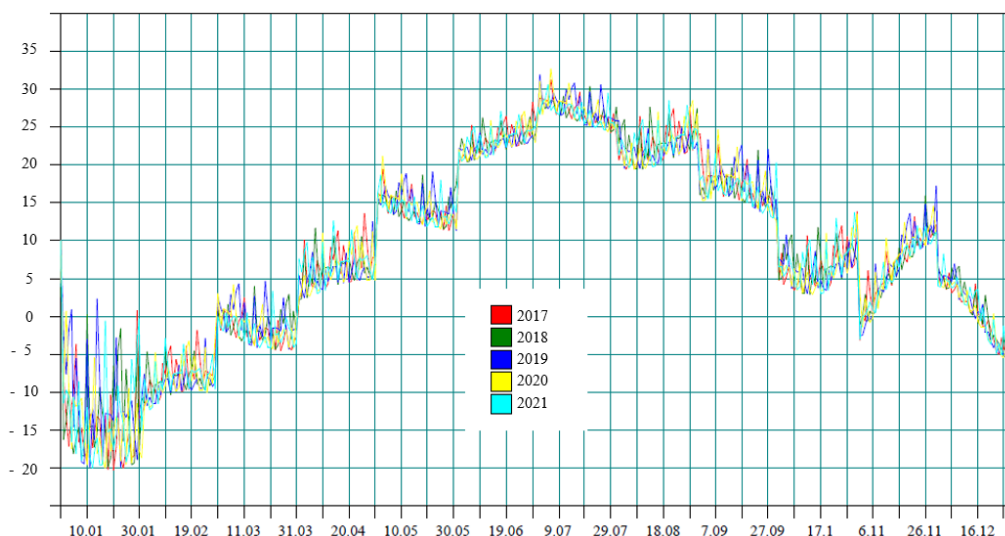


Рисунок 3.1 - Графіки зміни температури по календарних датах за п'ять років

3.2.3 Методика збору даних про інтенсивність експлуатації та відмови автобусів

Дані щодо інтенсивності експлуатації отримані за звітними відомостями транспортного підприємств ТОВ «Бест Ленад Груп» за період п'ять років.

Джерела інформації: подорожні листи автобусів, картки обліку роботи автобусів, бази даних автопідприємства, акти прийому в ремонт і заміни деталей. Усі дані зводилися у таблицю 3.3.

Отримана вихідна інформація була упорядкована та систематизована. У результаті для кожного місяця була визначена середня інтенсивність відмов

$$\lambda = \frac{N}{L_{\text{заг}}}, \quad (3.1)$$

де N - число відмов пневмопідвіски за місяць;

$L_{\text{заг}}$ - загальний пробіг усіх автобусів даної марки.

Таблиця 3.3- Фрагмент зведених даних про пробіги автобусів і відмови

Дата	Марка	Номер автобуса	Кількість відмов	Пробіг з початку експлуатації, км	Середній пробіг за місяць, км
24.09.2025	VDL Citea LLE-120	AC 3317 EX	35	121524	6000
24.09.2025	VDL Citea LLE-120	AC 2538 HA	43	175041	5740
24.09.2025	VDL Berkhof Ambassador 200	AC 0131 HO	39	181189	5900
...	...	...	...	...	...

3.3 Результати експериментальних досліджень

3.3.1 Закономірність розподілу напрацювань до відмови пневмопідвіски автобуса великого класу

Результати експериментів для автобусів VDL Citea LLE-120 наведені на рисунках 3.1 - 3.3. Обробка результатів виконана за відомими методиками.

Отримані дані згруповано за моделями автобусів, а також за видами відмов.

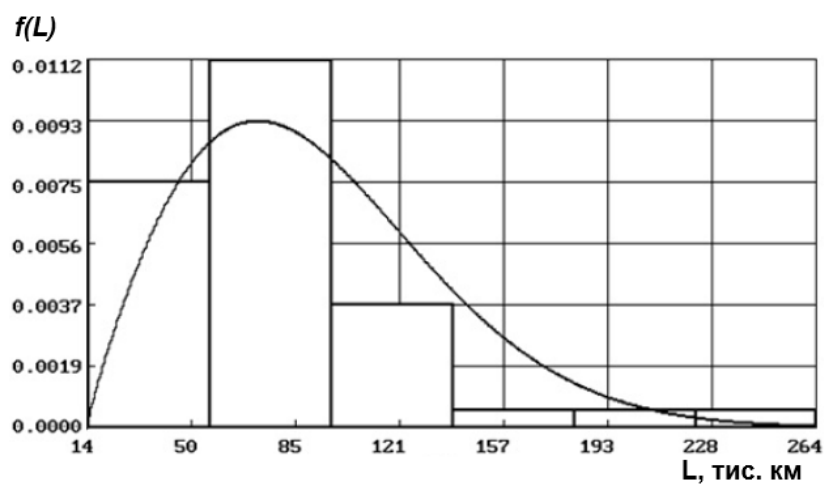


Рисунок 3.1 - Напрацювання на відмову пневмопідвіски автобуса VDL Citea LLE-120 за 2021 рік

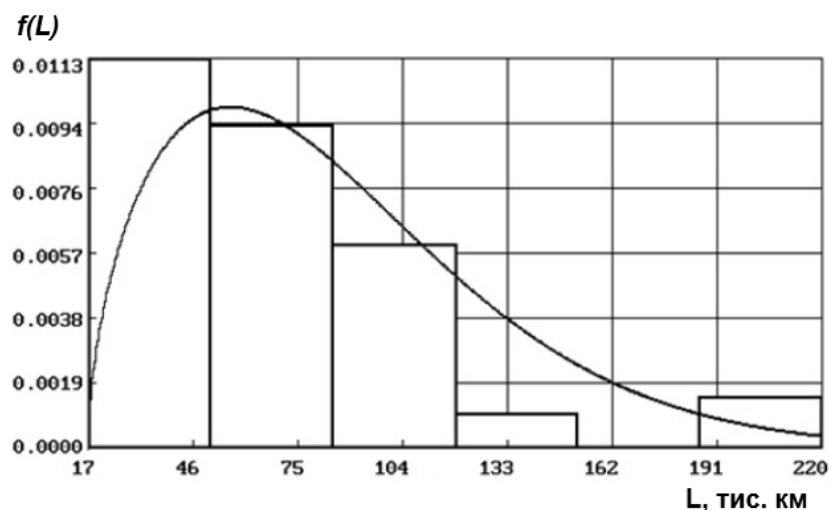


Рисунок 3.2 - Напрацювання на відмову пневмопідвіски автобуса VDL Citea LLE-120 за 2022 рік

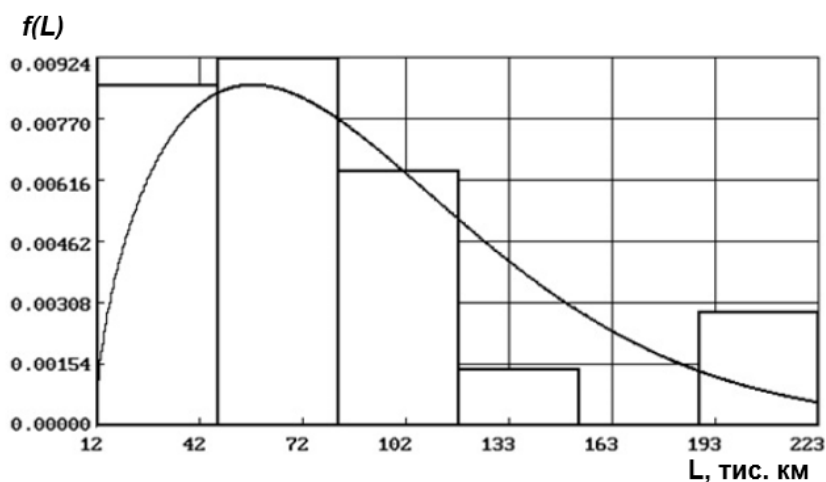


Рисунок 3.3 - Напрацювання на відмову пневмопідвіски автобуса VDL Citea LLE-120 за 2023 рік

При обробці результатів експерименту встановлено, що напрацювання до відмови пневмопідвіски автобусів змінюються в інтервалі від 20 до 180 тис. км, коефіцієнт варіації становить від 0,38 до 0,57. Найкращу апроксимацію емпіричних розподілів забезпечує логарифмічний нормальний закон або закон Вейбулла.

На рисунках 3.4-3.5 показано пневмобалон, що вийшов з ладу в зимовий період. Тут видно залишки крижаної кірки, яка, впливаючи на балон при його деформації під час руху, спричиняє прискорене його руйнування.

На основі проведених досліджень сформульовано такі висновки:

1. Інтенсивність відмов пневмопідвіски автобусів великого класу змінюється у широких межах. Це спричиняє нерівномірність завантаження постів обслуговування і ремонту, а також потреби у запасних частинах.
2. Переважна більшість відмов може бути ідентифікована як раптові, що відбуваються внаслідок дискретних процесів зміни технічного стану, що виключає можливість індивідуального прогнозування потоку відмов.



Рисунок 3.4 - Намерзання льоду на пневмобалоні автобуса
VDL Citea LLE-120



Рисунок 3.5 - Утворення крижаної кірки у захисному кожусі
пневмобалона автобуса VDL Citea LLE-120

3. Висунуто припущення, що на імовірність відмов впливає фактор або група факторів, які змінюються з часом, що зумовлює широкий інтервал варіювання інтенсивності відмов.

4. З огляду на широкий інтервал варіювання неможливо визначити доцільність профілактичної заміни пневмобалонів. Для цього необхідні спеціальні дослідження.

5. Отримані дані про середню інтенсивність відмов дають змогу моделювати потік вимог на заміну пневмобалонів. Використання результатів моделювання на практиці дає можливість зменшити простої автобусів і час очікування ремонту, знизити вартість оборотних фондів та експлуатаційні витрати.

3.3.2 Сезонні зміни інтенсивності відмов пневмопідвіски автобусів великого класу

Температура повітря та частка днів із опадами суттєво змінюються залежно від пори року. Такі зміни призводять до зміни інтенсивності відмов пневмопідвіски. Для перевірки цієї гіпотези було використано апарат гармонічного аналізу [12].

При оцінюванні значущості сезонних змін параметрів транспортної системи експериментальні значення досліджуваних показників апроксимуються гармонічною моделлю. Потім гармоніки лінеаризуються шляхом заміни змінних. Після цього оцінюється тіснота лінійного зв'язку між досліджуваним показником і лінеаризованою гармонікою. Для цього розраховується коефіцієнт парної кореляції, значущість якого визначається за критерієм Стюдента.

Результати експерименту щодо оцінювання сезонних змін інтенсивності відмов пневмопідвіски автобусів великого класу подано на рисунках 3.6-3.7. Аналіз отриманих результатів показав, що найбільше значення коефіцієнта кореляції відповідає першій гармоніці - 0,841; для другої гармоніки воно становить 0,158; для третьої - 0,418; для четвертої - 0,147; для п'ятої - 0,264.

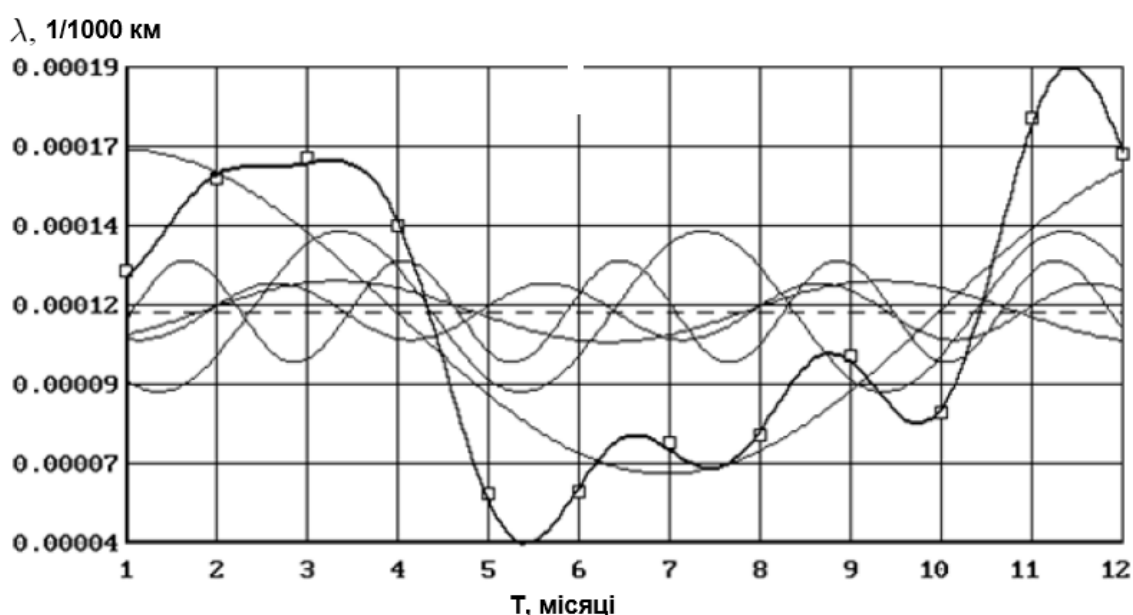


Рисунок 3.6 - Зміна у часі інтенсивності відмов пневмопідвіски автобуса VDL Citea LLE-120 (2022 рік)

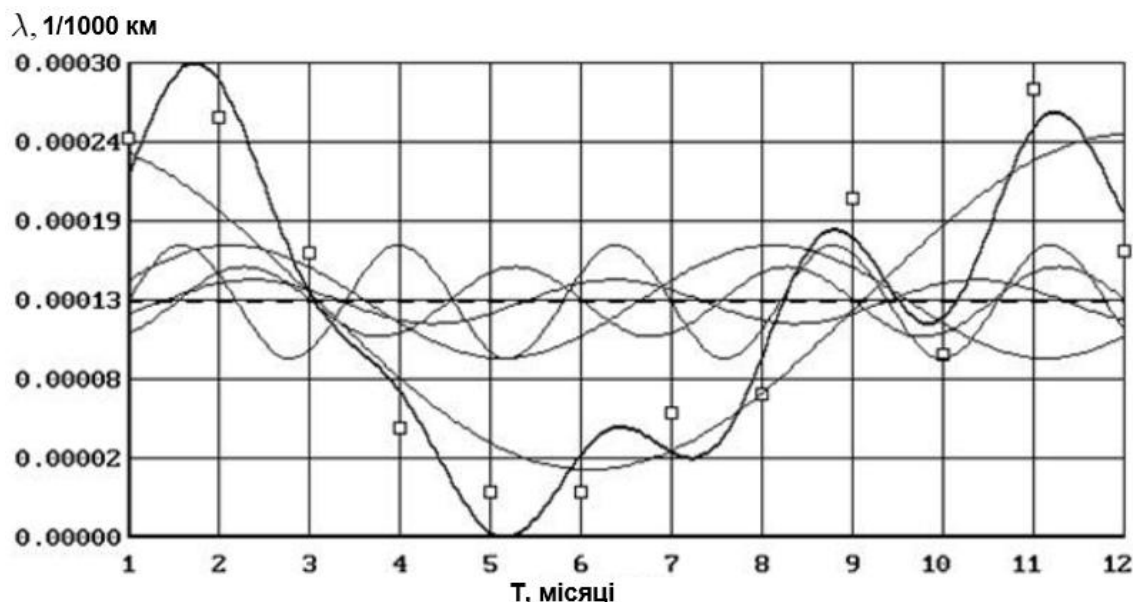


Рисунок 3.7 - Зміна у часі інтенсивності відмов пневмопідвіски автобуса VDL Citea LLE-120 (2023 рік)

Перевірка за критерієм Стюдента показала, що коефіцієнт кореляції першої гармоніки значимий з ймовірністю вище 0,95. Це свідчить про суттєвий вплив сезонних умов на інтенсивність відмов пневмопідвіски автобусів великого класу.

Аналіз статистичних даних за температурами довкілля показав, що для температури також можливе використання гармонійних моделей. Графіки зміни температури за календарними днями за п'ять років (рисунок 3.1), накладені один на інший, показують стійку закономірність зміни температури протягом року.

3.3.3 Перевірка гіпотез про вид математичних моделей впливу температури повітря та частки днів з опадами на інтенсивність відмов пневмопідвіски автобусів великого класу

Для перевірки гіпотези про вид математичних моделей впливу температури повітря та частки днів з опадами на інтенсивність відмов пневмопідвіски автобусів великого класу розраховані інтенсивності відмов пневмопідвіски автобусів усіх досліджуваних моделей за місяцями за 2020-2024 роки.

Отримані результати зіставлялися із значеннями середніх місячних температур повітря та частки днів із опадами (рисунки 3.8-3.11).

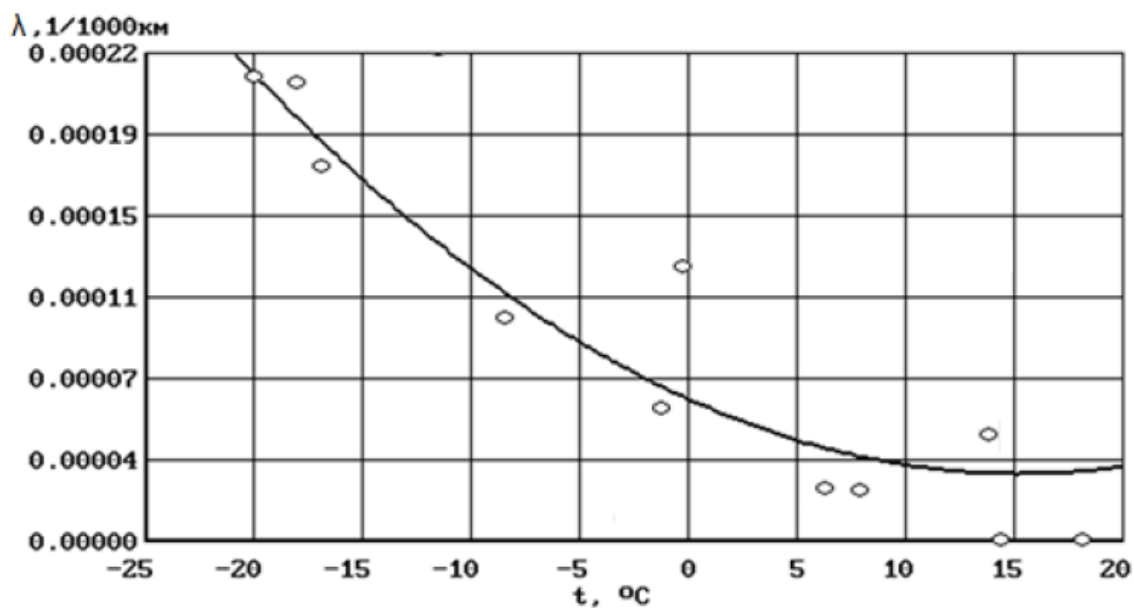


Рисунок 3.8 - Вплив температури повітря на інтенсивність відмов пневмопідвіски автобуса VDL Citea LLE-120 (2022 рік)

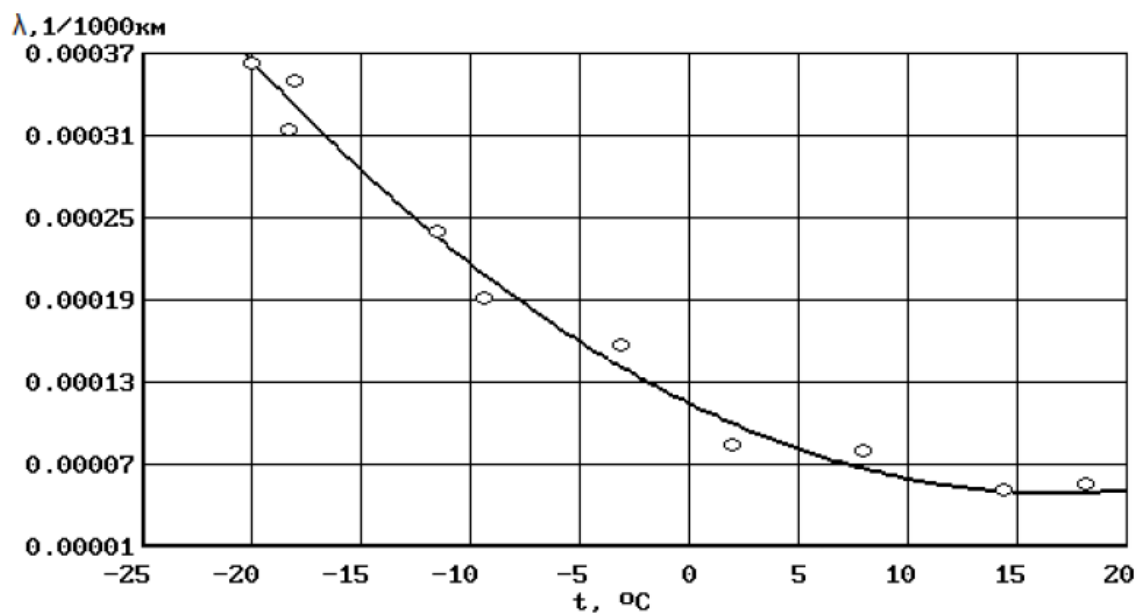


Рисунок 3.9 - Вплив температури повітря на інтенсивність відмов пневмопідвіски автобуса VDL Citea LLE-120 (2023 рік)

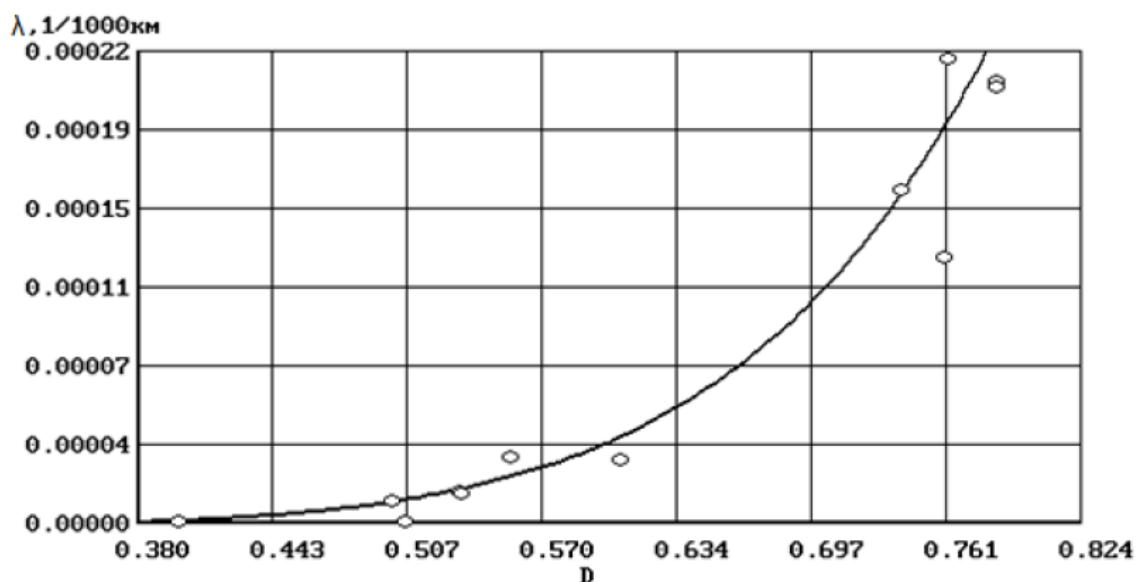


Рисунок 3.10 - Вплив частки днів із опадами на інтенсивність відмов пневмопідвіски автобуса VDL Citea LLE-120 (2022 рік)

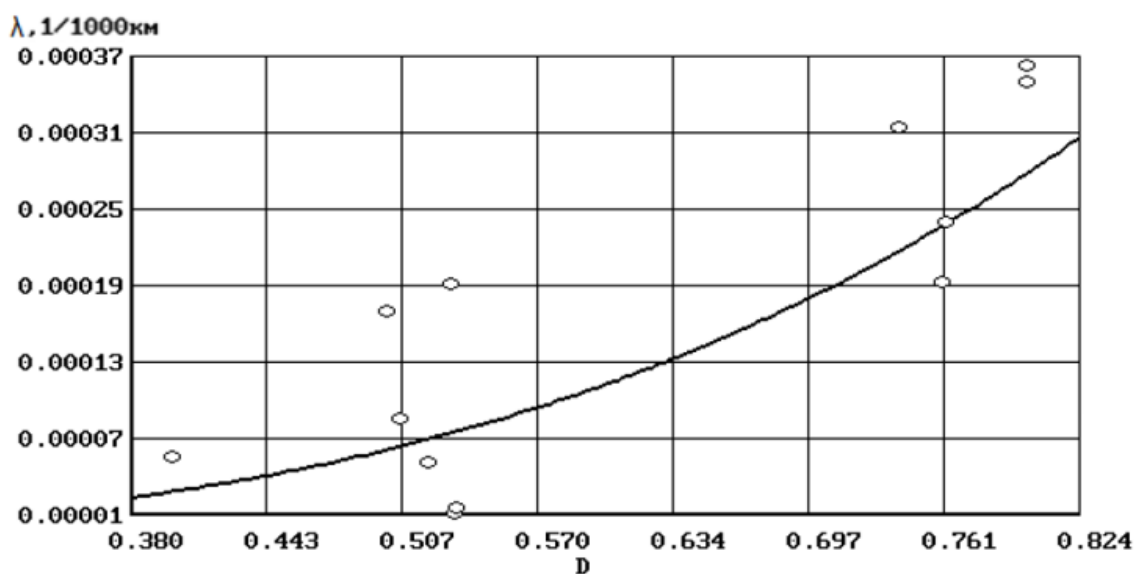


Рисунок 3.11 - Вплив частки днів із опадами на інтенсивність відмов пневмопідвіски автобуса VDL Citea LLE-120 (2023 рік)

Після обробки результатів експерименту встановлено, що для закономірності впливу температури повітря на інтенсивність відмов пневмопідвіски автобусів великого класу найкращу апроксимацію експериментальних даних забезпечує поліном другого ступеня. Оцінка тісноти зв'язку показала, що коефіцієнт кореляції при лінеаризації становив 0,99, рівень

його значущості оцінювався за критерієм Стюдента $t=4,2$, значення якого перевищило табличний з ймовірністю 0,99.

Адекватність рівняння оцінювалася за критерієм Фішера. Дисперсійне відношення Фішера перевищило табличний значення з ймовірністю 0,99, що свідчить про адекватність обраної моделі. Середня помилка апроксимації склала $E=6,1\%$.

Для закономірності впливу частки днів із опадами на інтенсивність відмов пневмопідвіски автобусів великого класу найкращу апроксимацію експериментальних даних забезпечує степенева модель. Оцінка тісноти зв'язку показала, що коефіцієнт кореляції при лінеаризації становив $r=0,98$, рівень його значимості оцінювався за критерієм Стюдента $t=2,7$, значення якого перевищило табличне з ймовірністю 0,99.

Адекватність рівняння оцінювалася за критерієм Фішера. Дисперсійне відношення Фішера перевищило табличний значення з ймовірністю 0,99, що свідчить про адекватність обраної моделі. Середня помилка апроксимації склала $E=1,5\%$.

Таким чином, на основі проведених досліджень було підтверджено гіпотези про вид математичних моделей впливу температури повітря та частки днів з опадами на інтенсивність відмов пневмопідвіски автобусів великого класу.

3.3.4 Оцінка впливу температури на деформацію пневмобалонів

Для оцінки надійності пневмобалона у різних умовах було проведено активний експеримент.

На рисунках 3.12 - 3.13 представлений порівняльні графіки деформації пневмобалона за різних температур навколишнього середовища. Експеримент проходив у 2 етапи. Випробування проводилося з двома пневмобалонами: один - із синтетичного каучуку, інший - із натурального каучуку.

На 1-му етапі випробування проводилися за 20°C . На другому етапі при -35°C .

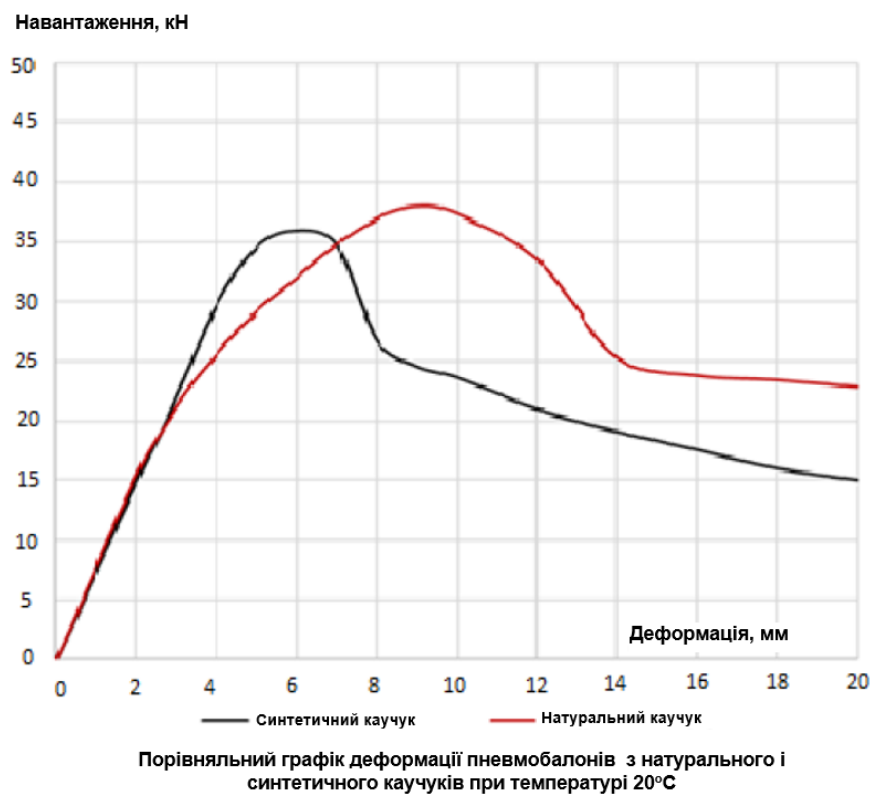


Рисунок 3.12 - Порівняльний графік деформації пневмобалонів при температурі 20°C

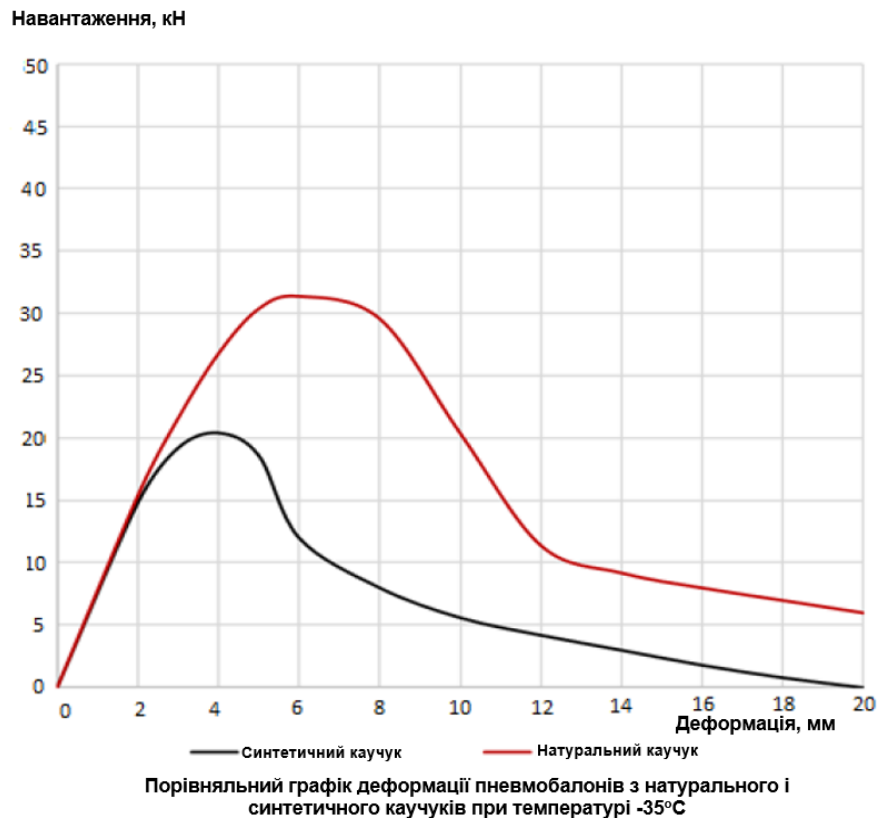


Рисунок 3.13 - Порівняльний графік деформації пневмобалонів при температурі -35°C

Кожен пневмобалон зазнавав навантаження, яке викликало деформацію при температурі 20°C.

З рисунка 3.12 видно, що при температурі 20°C натуральний каучук витримує значно більші навантаження, а у виробів із синтетичного каучуку при навантаженні 23кН відбувається розрив.

Другий етап експерименту проходив під час охолодження обох об'єктів. Попередньо пневмобалони помістили в морозильну камеру і витримали до температури -35°C.

Після завершення другого етапу зроблено висновок, що і за низьких температур повітря значно більше навантаження витримує натуральний каучук (рисунок 3.13), а синтетичний руйнується вже при навантаженні 15 кН. Під час огляду пневмобалонів автобусів, що експлуатуються на підприємстві, встановлено, що здебільшого всі вони з натурального каучуку, оскільки куплені в країнах Євросоюзу. Проте при їх заміні встановлюються вже пневмобалони, виготовлені із синтетичного каучуку.

Волокна натурального каучуку розташовані ближче один до одного, що дозволяє такому матеріалу витримувати низькі температури повітря та поздовжні і вертикальні деформації значно більш тривалий час, порівняно із синтетичним.

Вивчаючи властивості натурального та синтетичного каучуку, можна зробити висновок, що саме натуральний каучук витримує велике навантаження і більш надійний при низьких температурах повітря.

3.3.5 Перевірка гіпотези щодо виду багатofакторної моделі впливу сезонних умов на інтенсивність відмов пневмопідвіски автобусів великого класу

Оцінювання впливу кліматичних чинників на надійність пневмопідвіски автобусів проводилося на основі експериментальних досліджень. Установлено, що на інтенсивність відмов істотно впливають температура повітря t та частка днів з опадами D . На основі отриманих даних про інтенсивність відмов для кожного місяця та відповідних значень кліматичних факторів висунуто гіпотезу

щодо можливості описання досліджуваної залежності моделлю головних ефектів (2.13) або моделлю зі змішаними ефектами (2.12).

На рисунку 3.14 наведено графік останньої моделі (2.13).

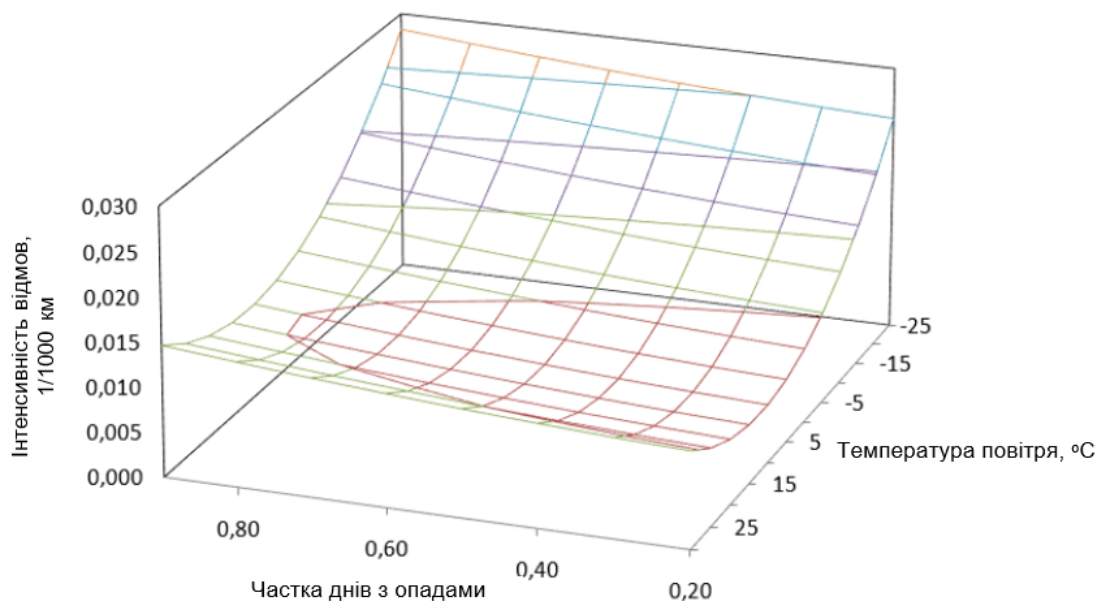


Рисунок 3.14 - Вплив температури повітря та вологості на інтенсивність відмов пневмопідвіски автобусів великого класу VDL Citea LLE-120 (модель головних ефектів)

Аналіз показав, що ця модель не повною мірою відповідає фізичному змісту досліджуваного процесу: за низьких температур у зимовий період року інтенсивність відмов зростає, а зі збільшенням частки днів з опадами за таких умов цей вплив ще посилюється. За додатних температур такої залежності бути не повинно.

У моделі головних ефектів врахувати спільний вплив факторів неможливо. Отже, необхідно використовувати модель зі змішаними ефектами (2.12).

Для оцінювання значущості змішаних ефектів останню модель було лінеаризовано шляхом заміни змінних

$$\lambda = A_0 + A_1X_1 + A_2X_2 + A_3X_3 + A_4X_4 + A_5X_5 \quad (3.2)$$

де $X_0 \dots X_5$ - лінеаризовані змінні.

Для оцінювання адекватності моделі, визначення числових значень її параметрів та статистичних характеристик використовувалася програма «REGRESS 2.5». До змішаних ефектів у моделі належать 4-й і 5-й доданки. Розрахунки показали, що коефіцієнт парної кореляції між $X_3=t^2D^{A6}$ і λ становив 0,76, а між $X_4=tD^{A6}$ і λ -0,74 (таблиця 3.4).

Таблиця 3.4. Матриця коефіцієнтів парної кореляції

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
λ	-0,65	0,59	0,76	-0,74	0,79
X_1	1	-0,28	-0,59	0,96	-0,71
X_2	-0,28	1	0,89	-0,44	0,15
X_3	-0,59	0,898	1	-0,73	0,5
X_4	0,96	-0,44	-0,73	1	-0,73
X_5	-0,71	0,157	0,5	-0,73	1

Перевірка за критерієм Стюдента показала, що з імовірністю 0,99 обидва змішані ефекти статистично значуще впливають на інтенсивність відмов пневмобалонів (таблиця 3.5).

На рисунку 3.15 наведено графік моделі зі змішаними ефектами.

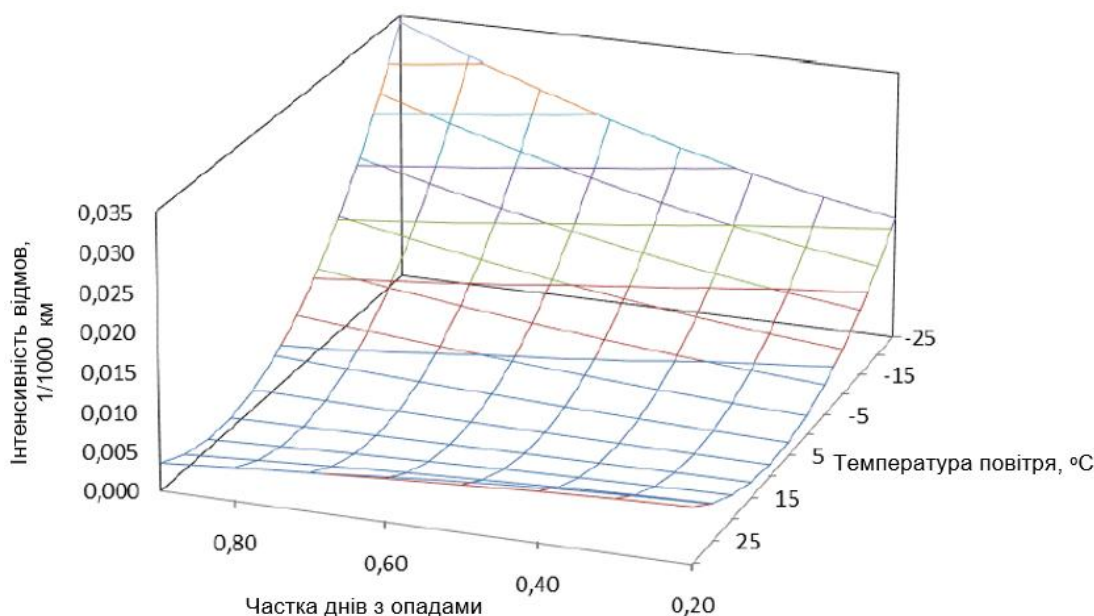


Рисунок 3.15 - Вплив температури повітря та вологості на інтенсивність відмов пневмопідвіски автобусів великого класу VDL Citea LLE-120 (модель зі змішаними ефектами)

Таблиця 3.5. Матриця імовірностей значущості коефіцієнтів парної кореляції

	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅
λ	0,98	0,95	0,99	0,99	0,99
X ₁	0,99	0	0,95	0,99	0,99
X ₂	0	0,99	0,99	0,80	0
X ₃	0,95	0,99	0,99	0,99	0,90
X ₄	0,99	0,80	0,99	0,99	0,99
X ₅	0,99	0	0,90	0,99	0,99

Адекватність рівняння оцінювалася за критерієм Фішера. Дисперсійне відношення Фішера перевищило табличне значення з імовірністю 0,95, що свідчить про адекватність обраної моделі. Середня похибка апроксимації становила 4,6%.

На основі результатів експерименту отримано математичні моделі, які дають змогу визначати потік відмов пневмопідвіски автобусів великого класу з урахуванням низької температури навколишнього середовища та інтенсивності опадів, що дозволить планувати потребу в запасних частинах [10]. Числові значення параметрів моделей наведено в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 - Числові значення параметрів математичної моделі впливу температури повітря та частки днів з опадами на інтенсивність відмов пневмопідвіски автобусів великого класу

Марка і модель автобуса	A ₀ , 10 ⁻⁶ км ⁻¹	A ₁ , 10 ⁻⁶ км ⁻¹ (°C) ⁻¹	A ₂ , 10 ⁻⁶ км ⁻¹ (°C) ⁻²	A ₃ , 10 ⁻⁶ км ⁻¹ (°C) ⁻¹	A ₄ , 10 ⁻⁶ км ⁻¹ (°C) ⁻²	A ₅ , 10 ⁻⁶ км ⁻¹	A ₆
VDL Citea SLF120.310	8,2	-0,21	0,013	-0,68	3,9	5,1	1,63
VDL Citea LLE120.225	9,1	-0,20	0,011	-0,69	3,5	4,8	1,60
VDL Berkhof Ambassador 200	2,1	-0,18	0,012	-0,55	6,6	5,9	1,62

3.4 Висновки до розділу 3

На основі пасивного експерименту доведено, що інтенсивність відмов пневмопідвіски автобусів великого класу суттєво змінюється залежно від сезону а також підтверджено висунуті гіпотези щодо виду закономірностей і математичних моделей для їх описання, визначено числові значення параметрів цих моделей.

4 ПРАКТИЧНЕ ВИКОРИСТАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

4.1 Ефективність системи відновлення працездатності пневмопідвіски

Особливістю системи відновлення працездатності автомобілів в ТОВ «Бест Ленад Груп» є використання ліній ТО та ПР для автобусів, обладнаних пневмопідвіскою, які є предметом дослідження. З іншого боку, ефективність цієї системи значною мірою визначається рівнем запасу комплектуючих на складі за всією необхідною номенклатурою.

Аналіз групи марок і моделей автобусів, обладнаних пневмопідвіскою, показує, що, незважаючи на щорічне збільшення закупівель пневмобалонів (таблиця 4.1), час непродуктивних простоїв автобусів зростає (рисунок 4.1). У той же час із замовлених у 2020 році 30 балонів для автобусів марки VDL половина протягом року залишилася незатребуваною на складі.

Таблиця 4.1 - Закупки пневмобалонів для автобусів VDL

Рік	Кількість придбаних пневмобалонів
2020	30
2021	35
2022	35
2023	40
2024	40

Однією з причин цього є нерівномірний розподіл відмов упродовж року, пов'язаний із впливом сезонних коливань температури навколишнього середовища та інтенсивності опадів. Крім того, під час визначення необхідного рівня запасу в чинній системі жодним чином не враховується напрацювання пневмопідвіски на момент постачання. Друга складова втрат, пов'язаних із недосконалістю системи відновлення працездатності автобусів, оснащених пневмопідвіскою - централізоване управління закупівлями.

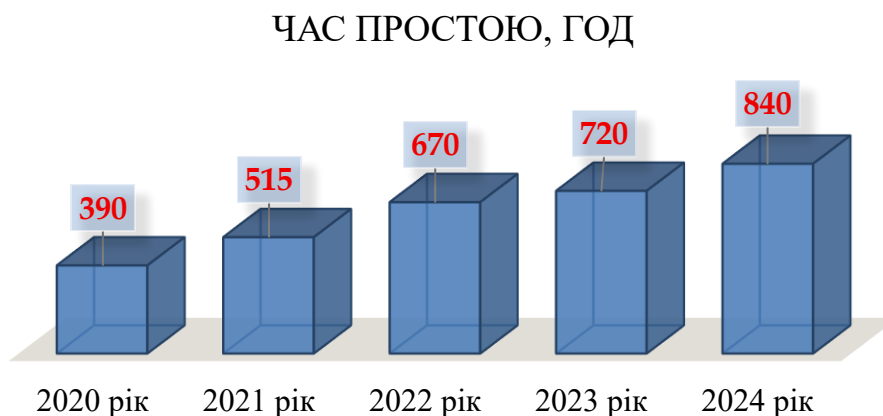


Рисунок 4.1 - Час простоїв автобусів великого класу на підприємстві
ТОВ «Бест Ленад Груп»

Упродовж року формуються заявки на постачання комплектуючих, і на основі цих даних здійснюється закупівля запасних частин. Постачання запасних частин відбувається через фіксовані проміжки часу. Наприклад, за елементами пневмопідвіски строк виконання замовлення становить три місяці. Протягом цього проміжку скоригувати розмір постачальної партії комплектуючих уже неможливо.

Постачання пневмобаллона здійснюється у зібраному вигляді (рисунок 4.2). В автобусах усіх марок і моделей на задню підвіску необхідно чотири пневмобалони, а на передню - два. Однією з причин, що впливають на рівень запасу на складі, є те, що захисний гумовий кожух не продається окремо, а в експлуатації у більшості випадків відбувається розрив корду кожуха балона задньої підвіски (рисунок 4.3), що й призводить до подальшої заміни всього пневмобалона.

За звітними даними ТОВ «Бест Ленад Груп» за 2023 рік понад 100 годин поспіль через відсутність запасних частин на складі простоювали 3 автобуси.



Рисунок 4.2 - Пневмобалон у зібраному вигляді автобуса
VDL Citea LLE120.225

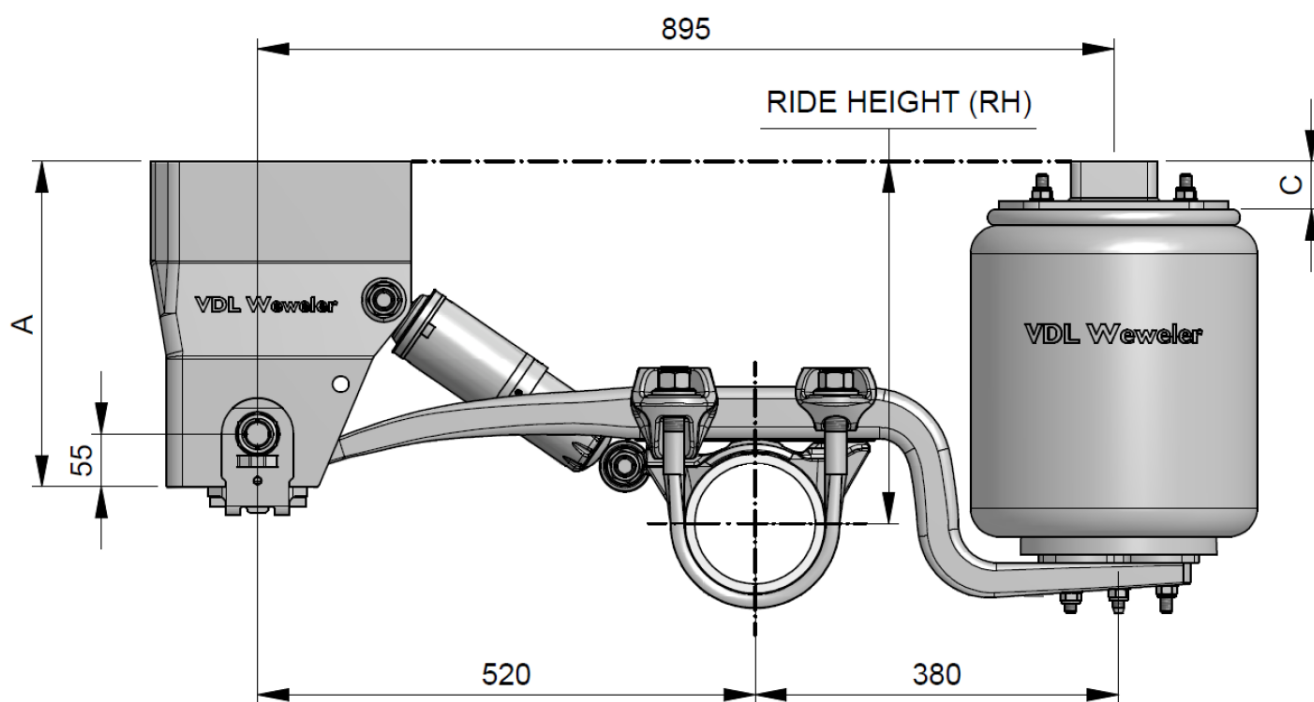


Рисунок 4.3 - Схема задньої пневмопідвіски автобуса великого класу
VDL Citea LLE120.225

Усі системи підвіски VDL Weweler характеризуються параболічним поздовжнім важелем, який виконує функцію інтегрованого стабілізатора поперечної стійкості та направляючого важеля для осі. Параболічні важелі виготовляються на власному виробництві, що забезпечує максимальний контроль

якості та технологічних процесів для цього важливого компонента й гарантує тривалий термін експлуатації.

VDL Weweler - єдиний європейський виробник ресор, який самостійно розробляє та виготовляє власну лінійку рішень для пневматичних підвісок.

Модульні системи пневматичної підвіски VDL Weweler використовуються виробниками причепів, вантажівок та автобусів у всьому світі. Модульна конструкція забезпечує сумісність незалежно від типу осі, її розміру або виробника. Це надає економічні логістичні та технічні переваги для виробників транспортних засобів. Завдяки модульним методам конструювання Weweler може ефективно виробляти великі партії, зберігаючи при цьому гнучкість для виконання вимог щодо малих і середніх спеціалізованих серій та застосувань.

Ринкова вартість пневмобалона для VDL Citea LLE120.225 - приблизно 7000 - 10000 грн. У разі, коли автобус не виходить на лінію через відсутність запчастин, основне виробництво зазнає збитків. В ТОВ «Бест Ленад Груп» втрати внаслідок простою автобуса великого класу становлять близько 15000 грн на добу. Згідно зі статистикою за п'ять років (2020 - 2024 р.р.) економічний збиток становив 290000 тис. грн.

Загалом збиток від простою автобусів парку за п'ять років становив 2580000 грн. Усі ці втрати пов'язані з недосконалістю системи управління запасами запасних частин на складі підприємства. Наприклад, у 2020 році пневмобалонів для VDL Citea LLE120.225 було закуплено 30 штук, тоді як кількість відмов за цією моделлю за рік становила 15. Це призводить до непродуктивного використання коштів та надмірних витрат за цією маркою автобусів.

Таким чином, недосконалість системи управління працездатністю автомобілів пов'язана головним чином із підсистемою управління запасами та призводить до втрат як при перевищенні необхідного розміру запасу запасних частин на складі, так і при їх зниженні нижче потрібного рівня. Для підвищення ефективності роботи системи загалом необхідно передусім визначити оптимальний розмір замовлення з урахуванням обмежень на постачання.

4.2 Визначення оптимального рівня запасу пневмобалонів на складі

Як цільову функцію обрано втрати, пов'язані з дефіцитом запасних частин, простоем основного виробництва, зберіганням запасних частин на складі та їх придбанням.

Загальний алгоритм імітації відмови пневмобалонів і відновлення їх працездатності під час експлуатації автобусів, а також управління їх запасом на складі та витратами, пов'язаними з цим, представлено на рисунку 4.4.

Подана модель передбачає такі припущення та обмеження:

- дорожні умови, що суттєво впливають на надійність пневмопідвіски, вважаються однаковими для всієї групи автобусів даної марки та моделі;
- модель передбачає імітацію поступової відмови при досягненні граничного стану, раптові відмови не імітуються;
- результати імітації визначаються початковим станом підвіски для кожного з автобусів групи однієї марки та моделі;
- час виконання замовлення становить 90 днів, що відповідає діючій у ТОВ «Бест Ленад Груп» системі постачання.

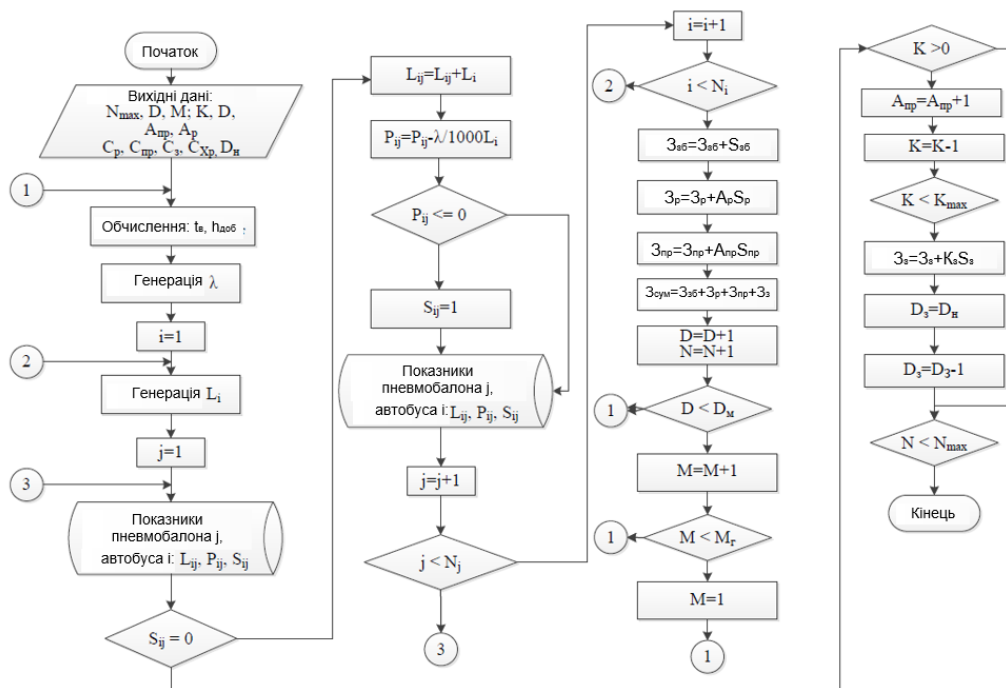


Рисунок 4.4 - Алгоритм імітаційної моделі методики визначення потрібної кількості запасних частин з урахуванням впливу сезонних умов

Алгоритм реалізовано за допомогою системи «Stamm 2.1».

Для задання початкових даних імітаційного експерименту (рисунок 4.5) використовувалися наявні дані про віковий склад групи автобусів цієї марки і моделі. Максимальний пробіг автобусів у початковій вибірці становив від 0 до 150000 км, що відповідало віку автобусів від 1 до 5 років з рівномірним щорічним оновленням парку для даної марки та моделі автобуса.

Також як початкові вхідні параметри моделі використовувалися дані про:

- витрати на відновлення працездатності автобусів;
- непродуктивні витрати внаслідок простою автобусів в очікуванні ремонту;
- витрати на утримання запасів пневмобалонів складі;
- витрати, пов'язані із виконанням замовлення та поставки пневмобалонів на склад;
- сумарні витрати на підтримку працездатності автобусів.

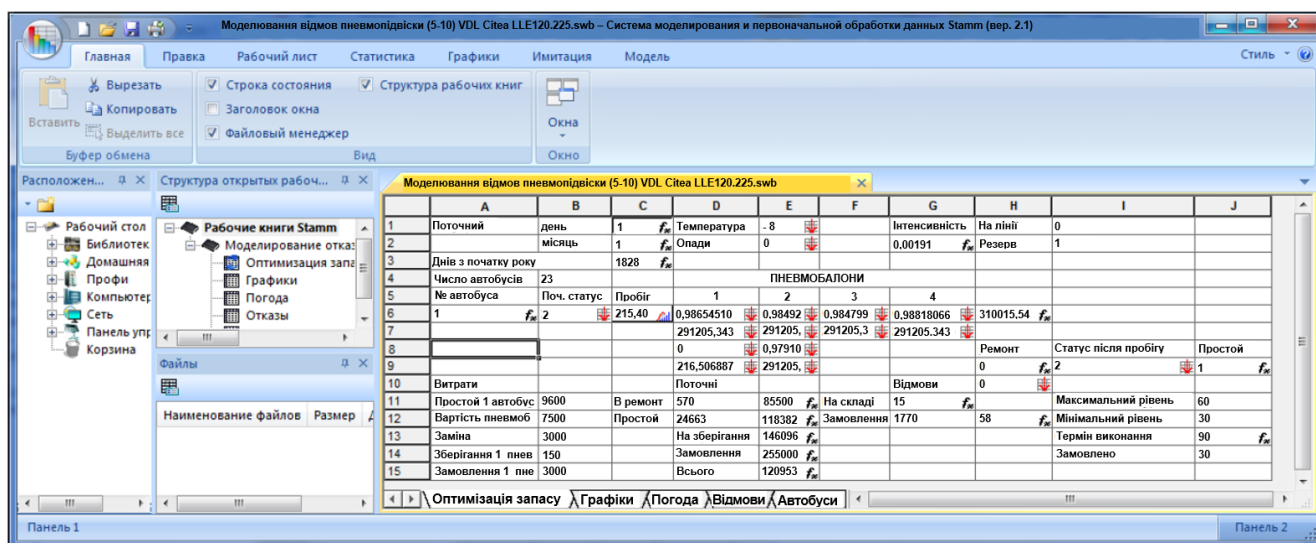


Рисунок 4.5 - Задання початкових даних

В результаті моделювання були збудовані відповідні графіки зміни витрат у часі для автобусів VDL Citea LLE120.225, пов'язаних з простоями через ремонт, заміну чи відсутність на складі пневмобалонів (рисунки 4.6 - 4.8). Такі ж графіки можуть бути збудовані для будь якої марки та моделі наявних на підприємстві автобусів та по будь якій групі запасних частин.

Результати моделювання для автобусів VDL Citea LLE120.225 віком від 0 до 5 років представлені на рисунку 4.6.

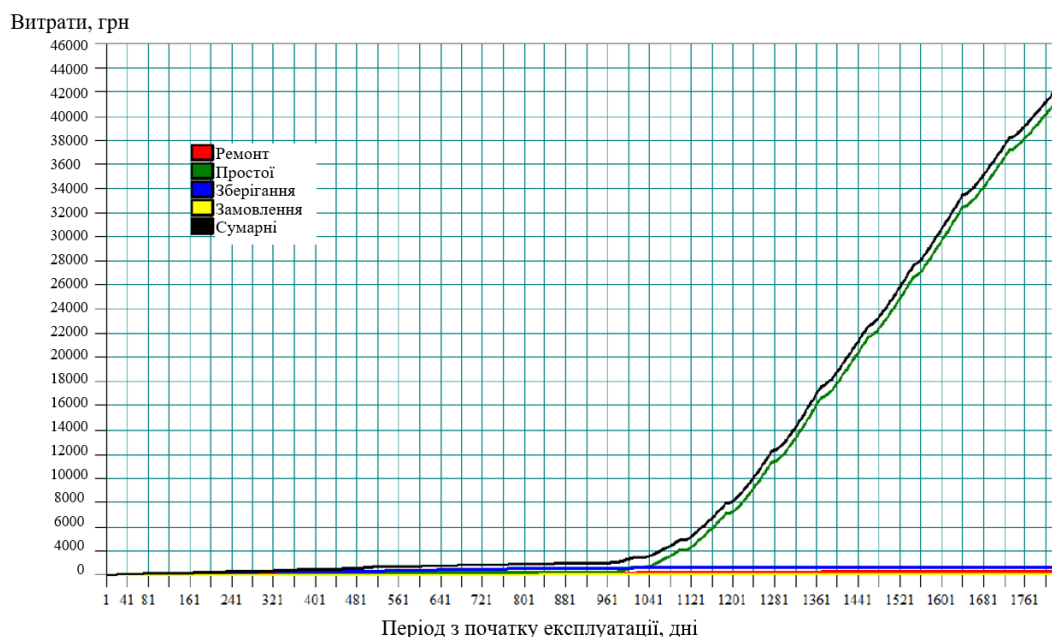


Рисунок 4.6 - Графіки зміни витрат у часі для автобусів VDL Citea LLE120.225 за період часу експлуатації від 0 до 5 років

Аналіз результатів імітаційного експерименту при пробігах, що відповідають віку нового парку автобусів, показав, що внаслідок високої надійності пневмопідвіски VDL Citea LLE120.225 за період часу експлуатації від 0 до 5 років простоїв автобусів внаслідок несправності та відсутності запасу пневмобалонів на складі не було. Перші відмови пневмобалонів цієї марки та моделі автобуса відповідають 3 рокам експлуатації.

Друга фаза імітаційного моделювання для автобусів VDL Citea LLE120.225 починалася з обнулення модельного часу експлуатації після першої фази та повторення експерименту протягом наступних п'яти років віртуального часу експлуатації. Це відповідає початковому віку парку від 5 до 10 років експлуатації. Результати для автобусів VDL Citea LLE120.225 представлені на рис. 4.7

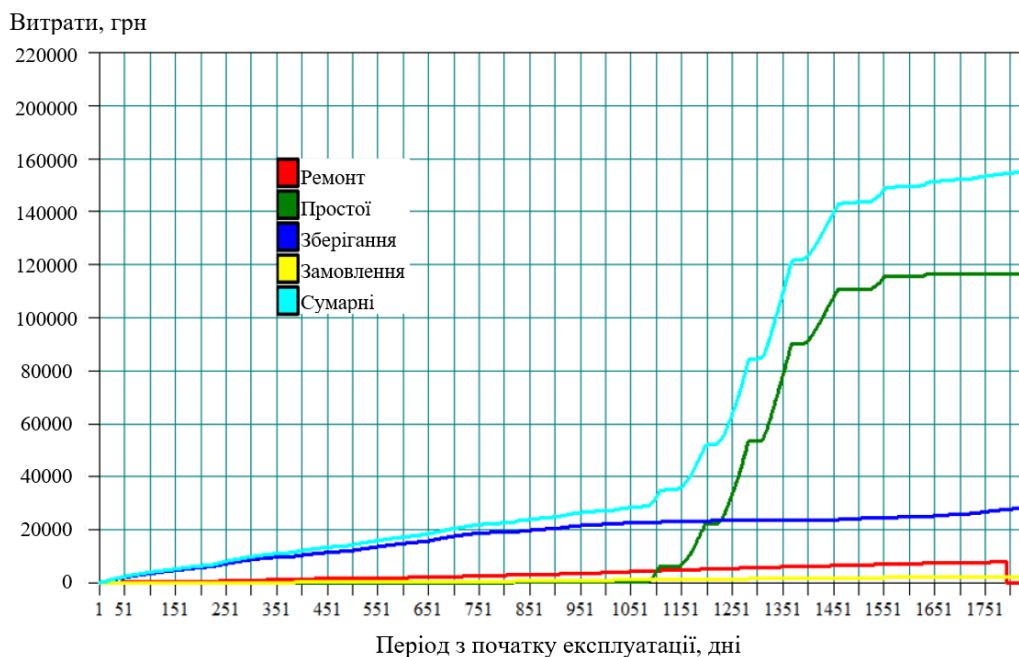


Рисунок 4.7 - Графіки зміни витрат у часі для автобусів VDL Citea LLE120.225 за період часу експлуатації від 5 до 10 років

Третя фаза імітаційного моделювання для автобусів VDL Citea LLE120.225 починалася з обнулення модельного часу експлуатації після другої фази та повторення експерименту протягом наступних п'яти років віртуального часу експлуатації. Це відповідає початковому віку парку від 10 до 15 років експлуатації. Результати для автобусів VDL Citea LLE120.225 представлені на рисунку 4.8.

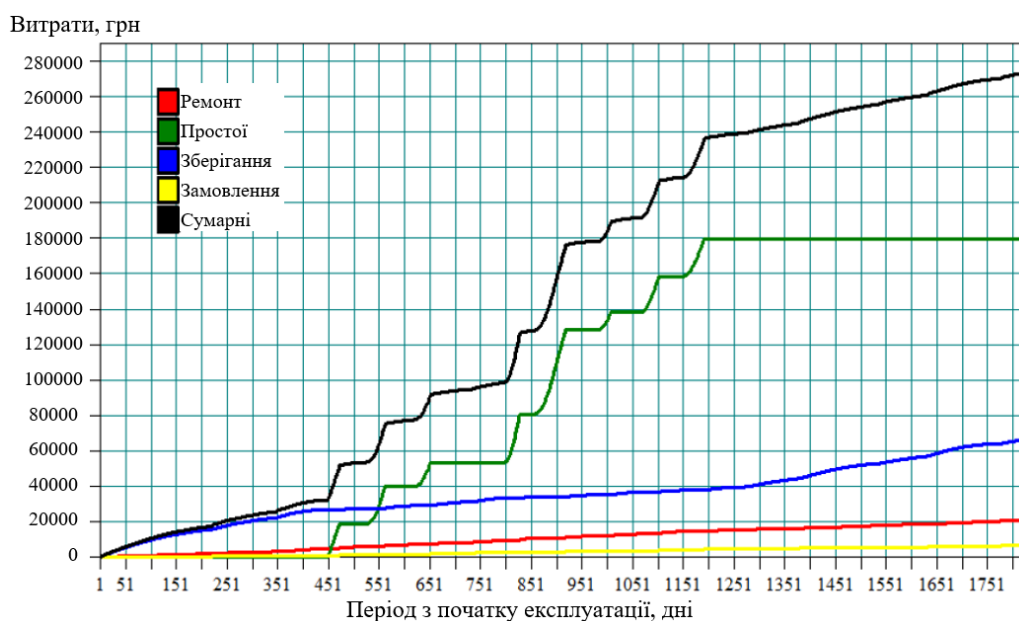


Рисунок 4.8 - Графіки зміни витрат у часі для автобусів VDL Citea LLE120.225 за період часу експлуатації від 10 до 15 років

За результатами імітаційного експерименту було побудовано криві зміни витрат, пов'язаних із підтриманням працездатності пневмопідвіски для автобусів VDL Citea LLE120.225 за різного рівня порогового запасу пневмобалонів на складі.

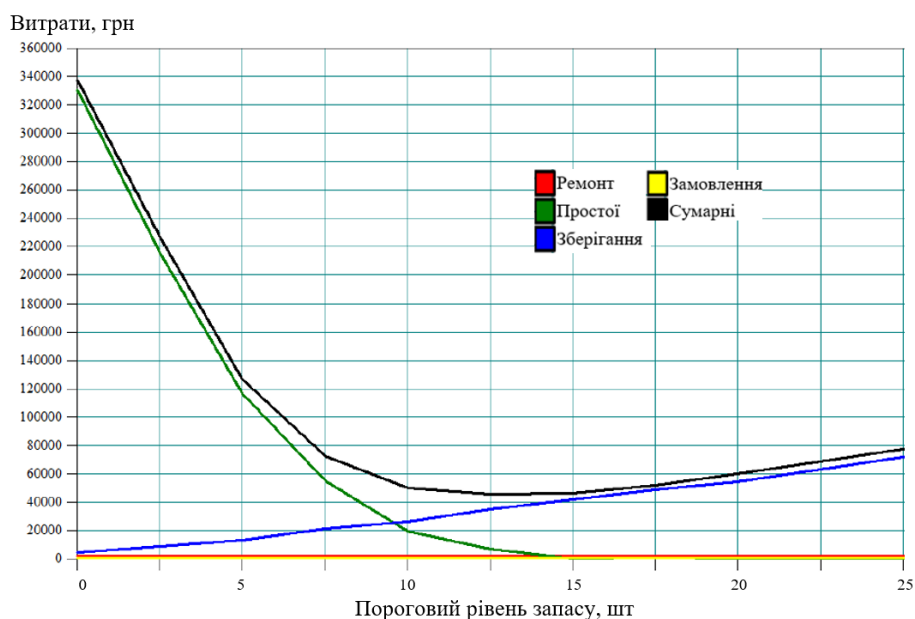


Рисунок 4.9 - Графіки зміни витрат при різному рівні порогового запасу пневмобалонів на складі для автобусів VDL Citea LLE120.225 за період часу експлуатації від 5 до 10 років

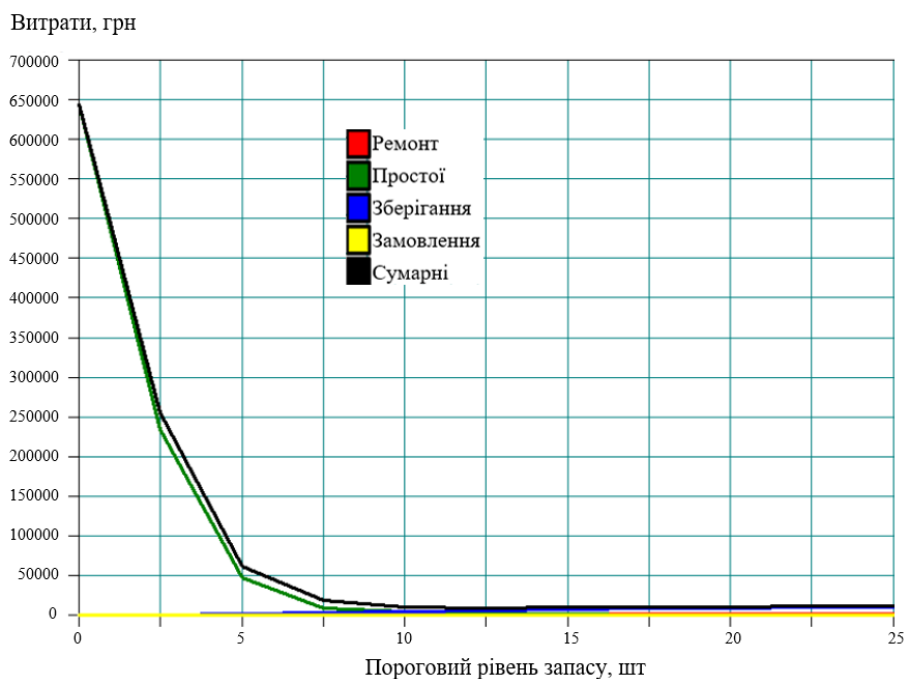


Рисунок 4.10 - Графіки зміни витрат при різному рівні порогового запасу пневмобалонів на складі для автобусів VDL Citea LLE120.225 за період часу експлуатації від 10 до 15 років

Перший графік відображає вплив порогового рівня запасу на складі, при досягненні якого здійснюється замовлення пневмобалонів для парку автобусів VDL Citea LLE120.225 віком від 5 до 10 років (рисунок 4.9).

Другий графік відображає ті ж залежності для парку автобусів VDL Citea LLE120.225 віком від 10 до 15 років (рисунок 4.10).

Результати імітаційного моделювання дозволили спрогнозувати оптимальний з погляду витрат пороговий рівень запасу пневмобалонів на складі для парку автобусів VDL Citea LLE120.225 протягом року.

Такі ж розрахунки можна здійснити і для автобусів VDL Citea SLF120.310 та VDL Berkhof Ambassador 200.

Використання отриманих результатів практично дозволяє зменшити простої автобусів в очікуванні запасних частин, що зменшує втрати прибутку. Також застосування методики дозволяє скоротити витрати на зберігання запасних частин, оскільки на складі буде зберігатись їх оптимальна кількість.

4.3. Методика визначення необхідної кількості пневмобалонів автобусів великого класу

Методика визначення необхідної кількості запасних пневмобалонів автобусів великого класу складається з наступних етапів:

1. Виконуються прогноз середніх місячних значень температури повітря та частки днів з опадами у заданому регіоні з використанням даних метеослужб.
2. За математичною моделлю (2.12), виходячи з середньої температури повітря та частки днів з опадами, розраховується інтенсивність відмов пневмобалонів для кожного місяця.
3. Визначається середня інтенсивність експлуатації автобусів за кожним місяцем (за даними служби експлуатації підприємства).
4. Прогнозується середня експлуатаційна кількість автобусів по кожному місяцю.

5. Визначається загальний пробіг автобусів кожного місяця шляхом перемноження інтенсивності експлуатації та середньої експлуатаційної кількості автобусів.

6. Розраховується кількість замін пневмобалонів шляхом множення середньої інтенсивності відмов на загальний пробіг автобусів.

4.4 Висновки до розділу 4

В даному розділі розроблено методику визначення необхідної кількості пневмобалонів автобусів великого класу. На основі отриманих результатів планується постачання пневмобалонів на прогнозований період експлуатації автобусів.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У магістерській роботі вирішено питання оцінки впливу сезонних умов на надійність пневмопідвіски автобуса великого класу.

1. Встановлено фактори, які необхідно враховувати під час моделювання потоку відмов. Для пневмопідвіски автобусів великого класу такими факторами є добова кількість опадів та температура повітря.

2. Виявлено закономірності формування потоку відмов пневмопідвіски автобусів великого класу.

3. Розроблено математичні моделі впливу сезонних факторів на потік відмов пневмопідвіски автобусів великого класу. Розроблено двофакторну модель впливу опадів та температури на інтенсивність потоку відмов пневмопідвіски автобусів великого класу.

4. Розроблено імітаційну модель формування потреби в елементах пневмопідвіски при експлуатації автобусів у змінних природно-кліматичних умовах.

5. Розроблено методику оцінки впливу сезонних умов на надійність пневмопідвіски автобусів великого класу.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. О. З. Горбай, К. Е. Голенко, і Л. В. Крайник Міцність та пасивна безпека автобусних кузовів. Монографія. Львів, Україна: вид-во Львівської політехніки, 2013, 276 с.
2. E. M. Alawadhi, Finite Element Simulations Using ANSYS CRC Press, Taylor & Francis Group, 2014, 408 p.
3. Д. П. Рубан, і Л. В. Крайник «Методологія прогностичної оцінки ресурсної довговічності автобусів» Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті, № 2 (11), Луцьк, 2018.
4. Д. П. Рубан, Л. В. Крайник, і Г. Я. Рубан «Оцінка впливу введення площадок низького входу «low-entry» в структуру несівного кузова на ресурсні характеристики автобуса в експлуатації» Автомобільний транспорт, № 43, с. 31-35, Харків, 2018.
5. І. І. Кельман, Основи забезпечення системної ефективності експлуатаційних властивостей автобусів. Львів, Україна: вид. Мета, 2001, 200 с.
6. Д. П. Рубан, Л. В. Крайник, і Г. Я. Рубан «Оцінка впливу корозії автобуса на фізичну міцність несівних елементів» в Матеріали V Міжнародної науково-практичної Інтернет-конференції: Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту, Вінниця, 2018, с. 60-64.
7. М. Ф. Бур'ян, і М. Ф. Боднар «Оцінка плавності руху автобуса методом моделювання у системі Matlab/Simulink» Динаміка, міцність та проектування машин і приладів: Вісн. Нац. ун-ту «Львівська політехніка», № 838, с. 115-120, 2016.
8. В. Л. Райхер «Гипотеза спектрального суммирования и её применение к определению усталостной долговечности при действии случайных нагрузок,» Пробл. надежности в строительной механике. Вильнюс, 1968, с. 267-263.
9. Митко М. В. Алгоритм імітаційної моделі надійності пневмопідвіски автобусів КП «Вінницька транспортна компанія» на кількість відмов під час експлуатації / М.В. Митко, Пономарьова Г.В. // Тези XV міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту» 24-26 жовтня 2022 року. - Житомир : Житомирська політехніка, 2022. - 101-103 с.
10. Malshakov A., Akzholov A. Method to determine required amount of spare parts for air suspension in large-size buses // Transportation Research Procedia. 2020. Vol. 50. P. 414-421.
11. Hung T. M. Optimal selection for an air suspension system on buses using genetic algorithm // Materials Today: Proceedings. 2022.

12. Lartén C. P. Modeling and Identification of Air Suspension in Heavy-Duty Vehicles: Master thesis. 2016. 78 p.
13. Li C., Du H., Li Z., Shen X. Uncertainty Analysis and Design of Air Suspension System for Bus // *Machines*. 2023. Vol. 11, No. 8.
14. Long, L. X., Quynh, L. Study on the influence of bus suspension parameters on ride comfort // *Vibroengineering Procedia*. 2018. Vol. 21. P. 77-82.
15. He, Y., Zhang, W., Lu, Z., Li, H. Optimization of air suspension parameters of a bus based on multi-body dynamics // *Applied Sciences*. 2021. Vol. 11, No. 4. Art. 1602.
16. Zhang, X., Wang, Y., Liu, D. Ride comfort evaluation of city buses with air suspension systems // *Shock and Vibration*. 2019. Art. ID 9576253.
17. Jun, K. J., Kim, H., Lee, S. Fatigue life prediction and reliability assessment of air suspension components // *International Journal of Automotive Technology*. 2008. Vol. 9, No. 5. P. 577-583.
18. Kim, J., Lee, C., Park, Y. Durability assessment of bus suspension components under variable road loads // *Engineering Failure Analysis*. 2022. Vol. 133. P. 106-137.
19. Maizza, G. Study and analysis of air springs for urban buses: PhD Thesis. University of Naples Federico II. Naples, 2018. 102 p.
20. Лудченко О. А. Технічна експлуатація і обслуговування автомобілів: Технологія: Підручник. - К.: Вища шк., 2017. - 527 с.: іл.
21. Офіційний сайт компанії VDL Weweler. Режим доступу: <https://www.vdlweweler.nl>
22. ДСТУ 2984-95 «Засоби транспортні дорожні. Типи. Терміни та визначення».
23. ДСТУ 3649-10. Засоби транспортні дорожні. Експлуатаційні вимоги безпеки до технічного стану та методи контролю. - К.: Держстандарт України, 2010. - 19 с.
24. ДСТУ 3310-96 Засоби транспортні дорожні. Стійкість. Методи визначення основних параметрів випробуваннями. - К.: Держстандарт України. - 11 с.
25. Закон України «Про автомобільний транспорт» із змінами та доповненнями - Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2001, № 22, ст.105.
26. Луговський В. Математичні моделі впливу кліматичних факторів на інтенсивність відмов пневмопідвіски автобусів великого класу / В. Луговський // Тези V студентської науково-технічної конференції факультету транспорту та механічної інженерії «Інноваційні технології в транспорті та механічній інженерії». Луцьк: ЛНТУ - 2025 р. - С 325 - 326.